Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Строительство и архитектура

Вып. 3(84) Научно-теоретический и производственно-практический журнал **2021**

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta
Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura

(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Series: Civil Engineering and Architecture)

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГТУ

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород Северного Причерноморья в связи с их послепросадочным уплотнением 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Алексиков С. В., Алексиков И. С., Лескин А. И., Гофман Д. И. Влияние производительности дорожных машин на интенсивность ресурсопотребления в строительстве 17

Шестаков Н. И., Титаренко Б. П. Сравнение биопозитивности покрытий дорожных одежд методом анализа иерархий 25

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В. Теоретические предпосылки формирования структуры цементной композиции при ее модификации полимерными добавками 35

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Геращенко А. А., Телятникова В. С., Гильгенберг А. Ю., Котломина Д. В. Перспективы использования электрохимических способов очистки сточных вод для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ 46

Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Юрьев Ю. Ю., Шевцова И. М., Телятникова В. С. Очистка промышленных сточных вод с использованием многоцелевых инженерно-технических устройств 61

Шевцова И. М., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Быканов И. В. Предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве (на примере г. Волгограда) 73

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Анопин В. Н., Махова С. И., Сабитова Т. А., Степанова Е. А., Карпова О. И. Особенности картографирования территорий Волгограда с существующими и проектируемыми зелеными насаждениями 86

Коростелева Н. В., Лепехина С. А. Обращение с твердыми коммунальными отходами: существующие проблемы и пути решения 97

Литвинова Н. А., Азаров В. Н. О модели вертикального распределения концентраций загрязняющих веществ по высоте зданий с учетом типа локальной застройки 108

Сидоренко В. Ф., Игнатьев А. В., Аброськин А. А., Ганжа О. А. Разработка и актуализация генерального плана города во взаимодействии с совершенствованием системы экологического мониторинга атмосферного воздуха для обеспечения оптимальных условий проживания 122

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Горошко Ю. П., Матовников С. А., Волков В. С. Современные приемы художественной организации игровой среды развлекательных центров 130

Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю. Методические основы строительства вертикального озеленения здания 142

Король Н. С., Матовников С. А., Волков В. С. Приемы формирования художественного образа космоса в дизайне интерьеров образовательных и развлекательных центров 156

Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Казакова А. В., Христюкова А. С. Основы проектирования парковой скамейки как малой архитектурной формы в парковой зоне 165

Плешивцев А. А. Количественные показатели технологичности, отображающие особенности композиционных решений архитектурных объектов 176

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Алиева Г. А. К истории создания оборонительных линий и крепостей в Дагестане и их влияние на горскую архитектуру в XIX веке 186

Мазаев Г. В. Линейные планировочные системы «идеальных» городов России XVIII — начала XIX века 195

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Антипова И. А. Реновация заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий с помощью строительства парков 204

Семенцов С. В., Крючихина А. Д., Безугомоннов Г. В., Шевчук И. В., Соколов И. И. Оценка рекреационного потенциала природного парка «Нижнехоперский» 216

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Корниенко С. В. Регулирование климатических воздействий окнами 224

Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Головančиков А. Б. Адаптивное управление режимами работы насадочных абсорберов систем газоочистки предприятий строительной индустрии 234

Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Чорнобай Е. А., Косовцев В. Д. Теплотехнические характеристики солнечных систем применительно к Волгоградской области 254

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН СТРОИТЕЛЬНОГО И АРХИТЕКТУРНОГО НАПРАВЛЕНИЙ В ВУЗЕ

Ермилова Н. Ю., Степанова И. Е., Маринина О. Н., Проценко О. В. Графическая подготовка студентов в условиях дистанционной формы обучения 261

От редколлегии 271

Content

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS. UNDERGROUND STRUCTURES

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V. Engineering and geological characteristics of loss rocks in the Northern Black Sea in connection with their post-setting compact 5

DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS

Aleksikov S. V., Aleksikov I. S., Leskin A. I., Gofman D. I. Impact of road machinery performance on the intensity of resource consumption in construction 17

Shestakov N. I., Titarenko B. P. Comparison of the biopositivity of roadwear coatings by the method of analysis of hierarchies 25

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. Theoretical preconditions for formation of the cement composition structure during its modification with polymer additives 35

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Gerashchenko A. A., Telyatnikova V. S., Gil'genberg A. Yu., Kotlomina D. V. Prospects for the use of electrochemical methods of wastewater treatment to achieve various standards of permissible discharges of pollutants 46

Ignatkina D. O., Moskvicheva E. V., Yur'ev Yu. Yu., Shevtsova I. M., Telyatnikova V. S. Industrial wastewater treatment using multi-purpose engineering devices 61

Shevtsova I. M., Ignatkina D. O., Moskvicheva E. V., Bykanov I. V. Prevention of ground water flooding of territories during construction (for example, Volgograd) 73

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Anopin V. N., Makhova S. I., Sabitova T. A., Stepanova E. A., Karpova O. I. Features of mapping Volgograd territories with existing and projected green plants 86

Korosteleva N. V., Lepekhina S. A. Treatment of solid municipal waste: existing problems and solutions 97

Litvinova N. A., Azarov V. N. On the model of the vertical distribution of concentrations of pollutants by the height of buildings taking into account the type of local development 108

Sidorenko V. F., Ignatyev A. V., Abroskin A. A., Ganzha O. A. Development and update of the city general plan in interaction with improvement of the environmental monitoring system of atmospheric air to ensure optimal living conditions 122

GENERAL ARCHITECTURE

Goroshko Yu. P., Matovnikov S. A., Volkov V. S. Modern methods of artistic organization of the gaming environment of entertainment centers 130

Ivanova N. V., Ganzha O. A., Podkovyrov I. Yu. Basic methodology in construction of vertical gardening on building facades 142

Korol N. S., Matovnikov S. A., Volkov V. S. Techniques for forming an artistic image of the cosmos in the interior design of educational institutions and entertainment centers 156

Matovnikova N. G., Samoiylenko P. V., Kazakova A. V., Khristyukova A. S. Fundamentals of designing a park bench as a small architectural form in a park area 165

Pleshivtsev A. A. Quantitative indicators of technological effectiveness, where displaying features for composite solutions architectural objects 176

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE

Alieva G. A. To the history of the creation of defense lines and fortresses in Dagestan and their influence on mountain architecture in the XIX century 186

Mazaev G. V. Linear planning systems the “ideal” cities of Russia of the XVIII — early XIX century 195

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

Matovnikov S. A., Matovnikova N. G., Samoiylenko P. V., Antipova I. A. Renovation of abandoned citywide and post-industrial territories through the construction of parks 204

Sementsov S. V., Kryuchikhina A. D., Bezugomonnov G. V., Shevchuk I. V., Sokolov I. I. Assessment of the recreational potential of the natural park "Nizhnekhopersky" 216

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

Kornienko S. V. Regulation of climatic impacts by windows 224
Merentsov N. A., Persidskii A. V., Gendler A. S., Golovanchikov A. B. Adaptive control of the operation modes of packed absorbers for gas cleaning systems in the construction industry 234
Torgashina S. N., Gadaborsheva T. B., Chornobay E. A., Kosovtsev V. D. Thermal characteristics of solar systems applicable to the Volgograd region 254

TEACHING METHODS FOR DISCIPLINES OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL BRANCHES OF LEARNING IN INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION

Ermilova N. Yu., Stepanova I. E., Marinina O. N., Protsenko O. V. Graphic training of students in the conditions of distance learning 261

From Editorial Team 271

УДК 624.131.1:624.131.23

Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина

Волгоградский государственный технический университет

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕССОВЫХ ПОРОД СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ В СВЯЗИ С ИХ ПОСЛЕПРОСАДОЧНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

На основе анализа результатов собственных исследований приведены данные о составе, физико-механических свойствах, просадочности и послепросадочном уплотнении лессовых пород инженерно-геологических областей и районов территории Молдовы. Для прогноза величины послепросадочного уплотнения рекомендован метод вероятностных аналогий. Составлена карта типологического инженерно-геологического районирования описываемой территории.

Ключевые слова: лессовые породы, просадочность, послепросадочное уплотнение, инженерно-геологическое районирование, вероятностные аналогии.

Строительство на территории Молдовы осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях. В частности, широкое распространение (до 80 % всей территории) имеют лессовые просадочные породы различного возраста и происхождения, которые залегают в различных структурно-тектонических, геоморфологических и гидрогеологических обстановках, в условиях активных режимов неотектонических движений земной коры и сейсмичности. Вопросами генезиса, стратиграфии и литологии лессовых пород в первой половине XIX в. в регионе занимались И. И. Фролов, В. Д. Ласкарев, В. И. Крокос, В. Р. Выржиковский и др. В 1940—1960-х гг. изучение лессовых пород связано с именами П. К. Замория, Н. А. Константиновой, Н. В. Ренгартена. В конце 1960 — начале 1970-х гг. детальные исследования стратиграфии лессовых отложений Северо-Западного Причерноморья выполнялись М. Ф. Векличем, К. Н. Негадаевым-Никоновым, Н. А. Сиренко.

Интенсивное развитие промышленности, гражданского и мелиоративного строительства с конца 1960-х гг. повлекло за собой увеличение объемов проектно-изыскательских работ. В изыскательских организациях накапливалась инженерно-геологическая информация по лессовым породам, ее обобщению посвящены работы Г. Е. Костика, А. К. Ларионова, В. С. Гончарова и Ю. И. Олянского. В это время разработаны научные основы прогноза просадочности методом аналогий [1], охарактеризован вещественный состав и свойства лессовых пород Нижнего Приднестровья [2], установлены закономерности пространственной изменчивости свойств и составлена инженерно-геологическая карта лессовых пород в масштабе 1:500 000 [3]. Необходимо отметить, что исследования носили прикладной характер и были направлены в первую очередь на совершенствование системы изысканий и проектирования на лессовых породах.

Первые специальные работы, направленные на всестороннее глубокое изучение природы формирования инженерно-геологических свойств лессо-

вых пород и их изменений при техногенезе, были начаты авторами в конце 1980-х гг. За это время выполнен значительный объем лабораторных исследований с привлечением современного оборудования и нестандартных методик, что позволило существенно расширить представления о предмете, а также пересмотреть некоторые устоявшиеся положения, касающиеся состава и свойств пород, что нашло свое отражение в настоящей статье.

Территория междуречья Прут — Днестр характеризуется физико-географической зональностью (особенно широтной) и связанными с ней климатическими изменениями, наличием менявшихся с различной интенсивностью неотектонических движений и связанных с ними условий накопления мелкозема, а также особенностями литогенеза, которые привели к различиям в строении, составе и свойствах лессовых пород и обусловили разный характер обводнения различных частей региона при их хозяйственном освоении. В широтном плане территория междуречья подразделяется на три крупные части с различной инженерно-геологической обстановкой: северную, центральную и южную. Пространственное зональное положение лессовых пород наряду с их генезисом и возрастом является одним из основных факторов, определяющих инженерно-геологические свойства этих отложений.

В северной и центральной частях междуречья лессовый покров наиболее молодой и в соответствии с [4] относится к нерасчлененной толще Q_{3-4}. На высоких водоразделах Центрально-Молдавской возвышенности лессовые породы в основном отсутствуют. В южной части междуречья они покрывают практически все элементы рельефа. Мощность лессовой толщи увеличивается с севера на юг и в Южном Приднестровье составляет 20—25 м, 30—40 м — в Южном Припрутье. Количество лессовых горизонтов достигает 8—10. Их литологический состав находится в тесной связи с возрастом, происхождением и условиями залегания, изменяясь от супесей и легких суглинков (горизонты pts, bg, ud по М. Ф. Векличу [5]) до средних и тяжелых суглинков (dp, ts, ti). Стратиграфически расчленимыми с различной степенью детальности являются преимущественно отложения покрова террас долин рек Прут, Днестр и лессовый покров первичных водоразделов юга региона, характеризующихся полным, хорошо выраженным разрезом четвертичных отложений [6].

Инженерно-геологическое районирование лессовых территорий междуречья выполнено в соответствии с методикой В. Т. Трофимова [7]. Применена система генетико-морфологического однорядного последовательного районирования. В соответствии с работами Г. А. Голодковской [8] территория междуречья Прут — Днестр относится к двум регионам: А — Русская платформа и Б — Скифская платформа. Дополнительно выделены: по геоморфологическому признаку — 4 инженерно-геологические области, по распространению лессовых пород различных стратиграфо-генетических комплексов — 11 инженерно-геологических районов (рис. 1).

Механический состав и агрегированность. Степень дисперсности лессовых пород оценивалась по результатам гранулометрических и микроагрегатных анализов в пределах инженерно-геологических областей.

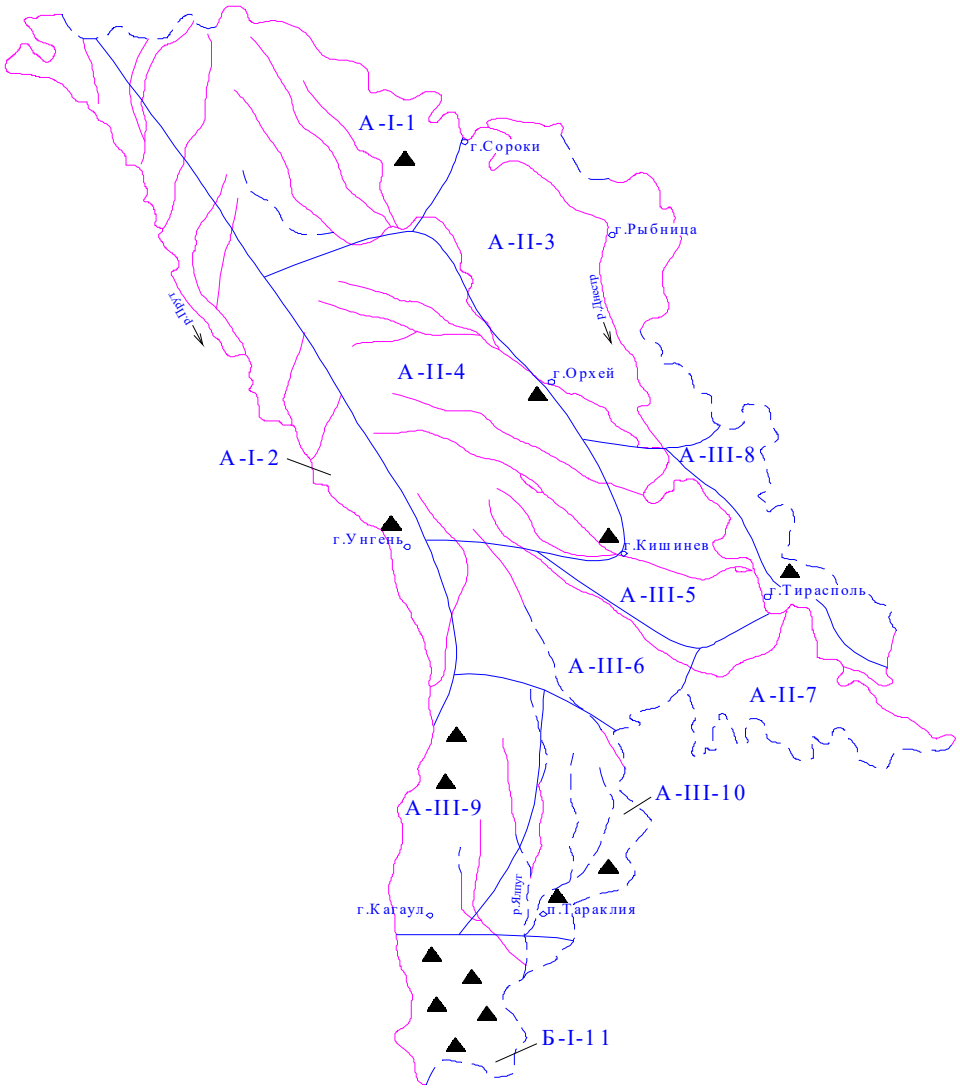


Рис. 1. Карта фактического материала, совмещенная с картой инженерно-геологических районов, масштаб 1:500 000: А-I-2 — индекс инженерно-геологического района, ~ — граница инженерно-геологического района

Обобщенные данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что лессовый покров по степени дисперсности пород весьма неоднородный, это особенно проявляется в микроагрегатном составе и степени дисперсности глинистой фракции. Наиболее агрегированы лессовые породы Южно-Молдавской лессовой равнины (Б-I), менее агрегированы лессовые породы северных областей, что является следствием существующей климатической зональности. Также весьма характерно невысокое содержание пылеватой и большое содержание песчаной фракций у лессовых пород Центральной Молдавской возвышенности (А-II). Последнее находит свое объяснение в преимущественно субаэральном генезисе отложений.

Таблица 1

Вещественный состав лессовых пород инженерно-геологических областей

Инженерно-геологическая область	Гранулометрический состав, %			Микроагрегатный состав, %			Минеральный состав глинистой фракции, %		
	Песок >0,05 мм	Пыль 0,05—0,005 мм	Глина <0,005 мм	Песок >0,05 мм	Пыль 0,05—0,005 мм	Глина <0,005 мм	Монтмориллонит, %	Гидрослюда, %	Прочие, %
А-I	2,37	37,69	59,93	13,48	65,89	20,63	35,50	50,00	14,50
А-II	37,69	27,86	34,56	50,28	37,25	12,47	42,90	41,80	14,40
А-III	32,47	33,32	34,23	33,92	58,16	8,43	49,92	31,17	17,17
Б-I	21,38	36,46	42,21	24,76	70,48	4,01	62,80	24,20	12,60

Таблица 2

Состав водорастворимых солей и содержание некоторых компонентов засоленности лессовых пород инженерно-геологических районов

Инженерно-геологический район	Минерализация, г/100 г сух. пор.	Катионы, г/100 г сухой породы			Анионы, г/100 г сухой породы			Карбонатность, %	Аморфный кремнезем, %	Гипс, %
		K^++Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Cl^-	SO_4^{-2}	HCO_3^-			
А-I-1	0,090	0,014	0,008	0,005	0,006	0,020	0,050	17,02	0,78	0,06
А-I-2	0,088	0,007	0,007	0,009	0,005	0,001	0,054	11,19	0,42	0,06
А-II-4	0,161	0,010	0,008	0,007	0,011	0,016	0,049	6,30	0,51	0,15
А-III-8	0,179	0,028	0,004	0,002	0,006	0,009	0,073	8,81	—	0,02
А-III-9	0,275	0,022	0,014	0,008	0,003	0,066	0,054	6,75	0,47	0,07
А-III-10	0,128	0,034	0,006	0,003	0,009	0,030	0,068	6,65	0,87	0,09
Б-I-11	0,249	0,032	0,005	0,012	0,010	0,044	0,621	11,3	—	0,04

Минерализация и состав водорастворимых солей. Химические особенности лессовых пород изучались и обобщались по результатам химических анализов водных и солянокислых вытяжек в пределах инженерно-геологических районов (табл. 2). Минимальное содержание солей у лессовых пород Северной Молдавии (А-I). К югу их содержание повышается в среднем в 1,5—3,0 раза, что также свидетельствует о влиянии климатической зональности и увеличении количества атмосферных осадков с юго-востока на северо-запад от 340 до 525 мм в год.

Физические свойства. Обобщенные данные о физических свойствах лессовых пород различного возраста и генезиса инженерно-геологических районов приведены в табл. 3. Их основные особенности заключаются в следующем. Наиболее глинистыми являются элювиальные и делювиальные отложения из северных районов небольшой мощности, залегающие на сарматских глинах, представленные средними и тяжелыми суглинками, реже — глинами. К югу с увеличением мощности лессовых толщ их пластичность уменьшается. Здесь преобладают легкие суглинки, супеси, реже — средние суглинки. В этом же направлении уменьшается и влажность отложений.

Наиболее пористыми являются лессовые породы $Q_{3\text{-}4}$ (в среднем 45,5—45,8 %), залегающие в областях А-I, А-III и Б-I независимо от их генезиса. С увеличением возраста отложений пористость уменьшается и для лессовых пород $Q_{1\text{-}2}$ составляет 40,6—43,6 %. Наименьшими значениями пористости в среднем 41,22 % характеризуются делювиально-пролювиальные отложения Центрально-Молдавской возвышенности (А-II) $dpQ_{3\text{-}4}$, что обусловлено их субаэральным происхождением и весьма неоднородным гранулометрическим составом.

Таблица 3

Показатели физических свойств лессовых пород инженерно-геологических районов и стратиграфических горизонтов

Район	Лессовая толща	W	W_L	W_P	I_P	Плотность, г/см^3		n, %	s_r
						грунта	сухого грунта		
А-I-1	$edQ_{3\text{-}4}$	0,22	0,43	0,21	0,22	1,81	1,49	45,5	0,72
А-I-2	$dQ_{3\text{-}4}$	0,15	0,28	0,20	0,08	1,84	1,60	41,0	0,58
А-II-4	$dpQ_{3\text{-}4}$	0,13	0,28	0,16	0,12	1,81	1,60	41,22	0,50
А-III-8	$eoldQ_3$	0,16	0,32	0,19	0,14	1,81	1,55	42,3	0,59
А-III-8	$eoldQ_2$	0,15	0,31	0,18	0,13	1,99	1,73	36,2	0,72
А-III-9	$eoldQ_3$	0,15	0,31	0,18	0,12	1,66	1,45	45,8	0,47
А-III-9	$eoldQ_2$	0,14	0,29	0,18	0,11	1,80	1,58	41,6	0,54
А-III-10	$eoldQ_3$	0,17	0,34	0,18	0,15	1,84	1,58	41,8	0,62
А-III-10	$eoldQ_2$	0,16	0,35	0,18	0,17	1,89	1,63	40,3	0,65
Б-I-11	$eoldQ_3$	0,14	0.29	0,19	0,10	1,58	1,40	47,7	0,40
Б-I-11	$eoldQ_2$	0,17	0,31	0,21	0,10	1,71	1,47	45,6	0,55
Б-I-11	$eoldQ_1$	0,18	0,33	0,21	0,12	1,79	1,52	43,6	0,60

Просадочность и послепросадочное уплотнение. Изучение просадочности лессовых пород осуществлялось в компрессионных приборах конструкции ЛГИ. Эти приборы после некоторого усовершенствования позволяют выполнять компрессионные испытания в соответствии с ГОСТ 23167—78 при капиллярном водонасыщении испытуемого образца, а также в условиях непрерывной фильтрации воды [9].

Компрессионные испытания выполнялись методом «одной кривой» по следующей методике. После загрузки образца в кольцо компрессионного прибора он подвергался обжатию ступенями нагрузок через 0,05 МПа до величины 0,15 МПа. При такой нагрузке и природной влажности образец выдерживался до условной стабилизации деформации сжатия, после чего его

влажность увеличивалась методом капиллярного водонасыщения, и регистрировалась деформация замоченного образца. Наблюдения проводились на протяжении 2—4 недель, до условной стабилизации деформации сжатия, которая составляет 0,001 мм за 1 сут. После этого подключалась вода из бака и начиналась фильтрация через образец снизу вверх при градиенте напора, равном 80. Использовалась водопроводная вода гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией 0,25 г/л. Деформация образца регистрировалась ежесуточно на протяжении от 30 до 90 сут.

Таблица 4

Показатели относительной просадочности лессовых пород инженерно-геологических районов и стратиграфических горизонтов

Инженерно-геологический район	Лессовая толща	Показатели относительной просадочности ε_{sl}, рассчитанные			Коэффициент $K_{\text{пу}} = \frac{\varepsilon_{sl}^{\text{ф}}}{\varepsilon_{sl}}$
		по ГОСТ 23161—78 ε_{sl}	после завершения консолидации ε_{sl}^{k}	после завершения фильтрации $\varepsilon_{sl}^{\text{ф}}$	
А-I-2	$dQ_{3\text{-}4}$	0,004	0,008	0,008	2,00
А-II-3	$dpQ_{3\text{-}4}$	0,001	0,003	0,003	3,00
А-II-4	$dpQ_{3\text{-}4}$	0,015	0,022	0,038	2,47
А-III-8	$eoldQ_3$	0,013	0,015	0,013	1,74
А-III-9	$eoldQ_3$	0,025	0,034	0,039	1,97
А-III-10	$eoldQ_2$	0,013	0,018	0,021	1,62
Б-I-11	$eoldQ_3$	0,020	0,023	0,028	1,58
Б-I-11	$eoldQ_2$	0,013	0,023	0,029	2,95
Б-I-11	$eoldQ_1$	0,011	0,024	0,032	3,93

После завершения опыта изучался вещественный состав пород. Выполнялся микроагрегатный анализ методом Качинского. Определялся состав водорастворимых солей, минерализация, карбонатность, содержание аморфного кремнезема и гипса, а также емкость поглощения, состав обменных катионов, показатели физических свойств и удельное сопротивление пенетрации. Такая методика исследований, несмотря на все ее недостатки, позволяет не только оценить деформацию образца при замачивании, но и дифференцировать ее на собственно просадку (провальную и замедленную) и послепросадочное уплотнение. Она широко использовалась различными исследователями для лессовых пород Северного Кавказа, Ростовской области, Таджикистана [10, 11], а также Ю. И. Олянским [12—14] для территории Молдавии. Образцы пород ненарушенного сложения отбирались из буровых скважин (см. рис. 1).

Обобщение и анализ полученных результатов свидетельствуют о том, что длительная фильтрация приводит к существенному увеличению деформации лессовых пород. Коэффициент послепросадочного уплотнения $K_{\text{пу}}$ отдельных образцов изменяется от 1,19 до 7,0. Обобщение значений данного коэффициента (табл. 4) свидетельствует о том, что в целом наблюдается закономерность в изменении величины послепросадочного уплотнения в зави-

симости от возраста лессовой толщи, что обусловлено увеличением ее глинистости и уменьшением пористости.

Анализировалась зависимость коэффициента $K_{пу}$ от показателей вещественного состава и физических свойств лессовых пород. В таблице 5 и на рис. 2, 3 приведены регрессионные уравнения взаимосвязи $K_{пу}$ с показателями состава и свойств пород. Коэффициенты корреляции уравнений составляют 0,33—0,85 % [15—18].

Таблица 5

Регрессионные зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$ от показателей состава и свойств лессовых пород

Показатели состава и свойств	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции r
Содержание гипса Г, %	$K_{пу} = 2 \times 5{,}243\,Г + 1{,}103$	0,85
Плотность сухого грунта ρ_d, г/см	$K_{пу} = 3{,}5495\rho_d - 3{,}3509$	0,81
Коэффициент агрегированности дисперсной фракции $K_{агр}$	$K_{пу} = 00009K_{агр}^2\ 0{,}0406K_{агр} + 1{,}6846$	0,73
Содержание монтмориллонита в дисперсной фракции М, %	$K_{пу} = 0{,}0218М + 1{,}1909$	0,71
Величина относительной просадочности ε_{sl} (по ГОСТ 23161—78)	$K_{пу} = 294{,}94\varepsilon_{sl}^2 - 30{,}047\varepsilon_{sl} + 1{,}8521$	0,55
Железо трехвалентное Ж, г/100 г породы	$K_{пу} = 1{,}1173Ж + 1{,}4762$	0,54
Предел текучести W_L	$K_{пу} = 6{,}4276W_L - 0589$	0,50
Содержание обменного кальция К, мг-экв/100 г породы	$K_{пу} = 0{,}1331К + 1{,}7814$	0,40
Общее содержание дисперсной фракции D, %	$K_{пу} = 2{,}6407 - 0{,}0134D$	0,33

Это позволило сделать вывод, что прогнозирование величины $K_{пу}$ с использованием какого-либо одного показателя состава и свойств пород не представляется возможным ввиду невысокой тесноты связи показателей с величиной $K_{пу}$ [18]. Таким образом, прогноз возможен методом многомерного регрессионного анализа либо методом вероятностных аналогий. Последний представляется как наиболее приемлемый для решения указанной задачи ввиду наличия достаточной базы данных лабораторных экспериментов (около 100). Это позволяет использовать при решении задачи теорему и уравнение Байеса. Прогнозными факторами, для которых рассчитаны эмпирические вероятности, явились: содержание в породе дисперсной фракции, предел текучести, плотность сухого грунта, величина относительной просадочности, определенная по ГОСТ 23161—78, и содержание гипса [19—21].

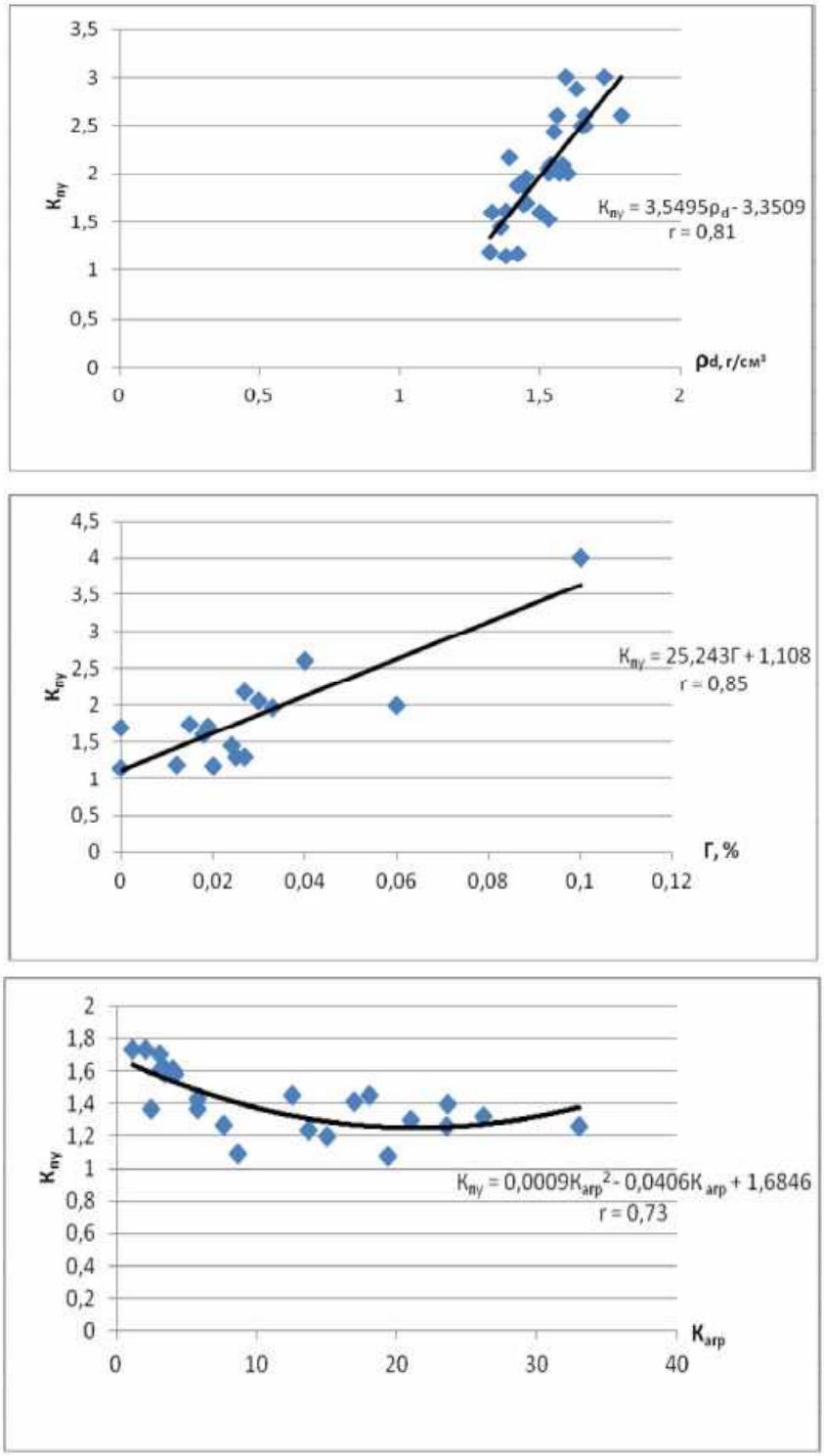


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{\text{пу}}$ от плотности сухого грунта ρ_d, содержания гипса Г, коэффициента агрегированности дисперсной фракции $K_{\text{агр}}$

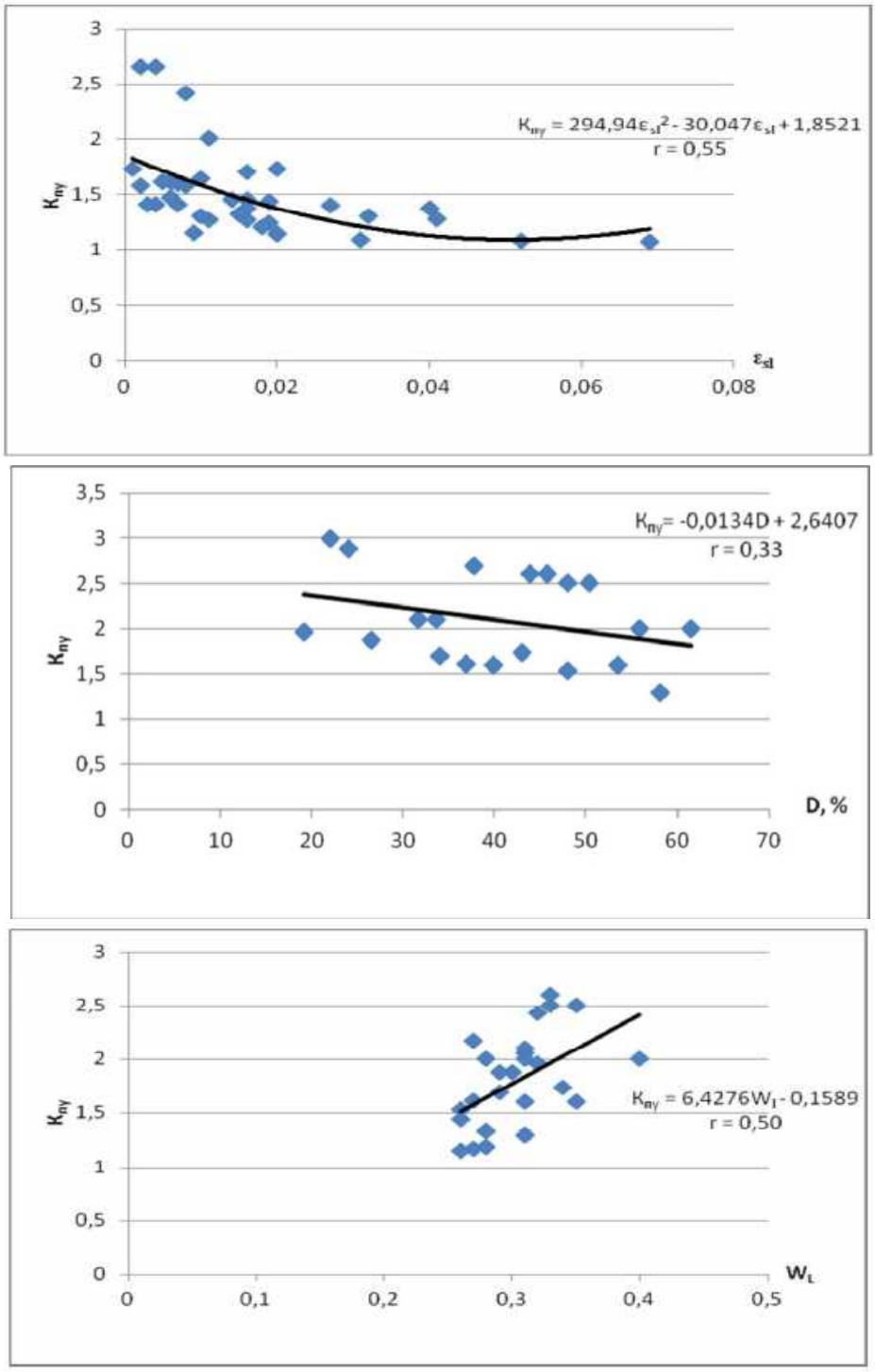


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$ от величины относительной просадочности ε_{sl}, предела текучести W_L, общего содержания дисперсной фракции D

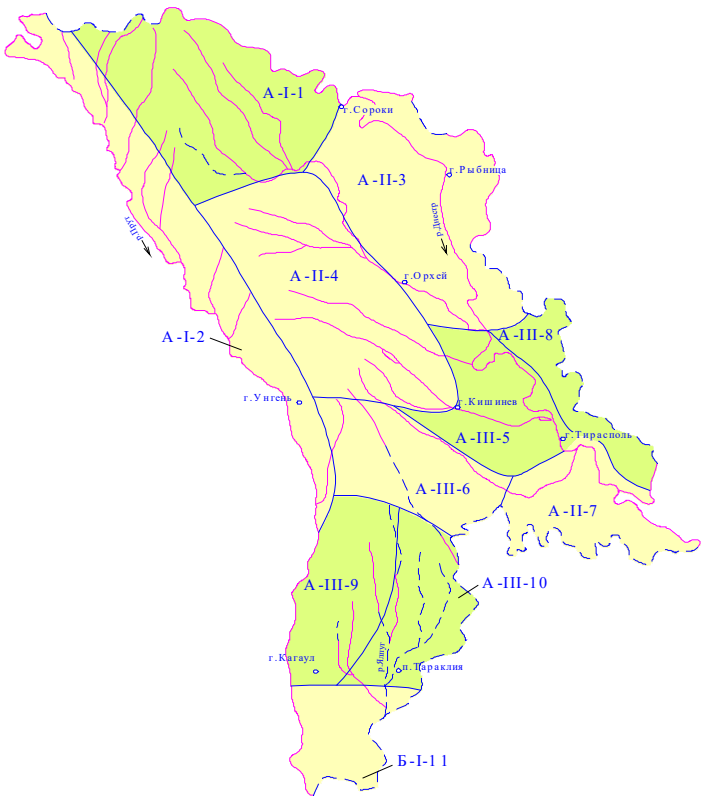


Рис. 4. Карта типологического инженерно-геологического районирования лессовых территорий Молдовы по величине послепросадочного уплотнения: А-I-2 – индекс инженерно-геологического района; —— — граница инженерно-геологического района. Значения коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$ лессовых пород толщи Q_3 и Q_{3-4}: — 1,7—2,2; — 2,2—3,2

Прогноз величины послепросадочного уплотнения по значению коэффициента $K_{пу}$ выполнен для всех регионально-генетических типов лессовых толщ междуречья. В качестве прогнозного фактора использовались среднее и среднестатистическое его значения для данной лессовой толщи. Полученные значения $K_{пу}$ для инженерно-геологических областей, районов и лессовых толщ позволили составить карту типологического инженерно-геологического районирования лессовых территорий Молдовы (рис. 4). Прогноз выполнен для наиболее молодой лессовой толщи Q_{3-4}, распространенной на всей территории междуречья [22—25].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Костик Г. Е.* Опыт прогнозирования просадки лессовых пород методом аналогий. Кишинев: Штиинца, 1978. 43 с.

2. *Гончаров В. С.* Инженерно-геологическая характеристика лессового покрова Нижнего Приднестровья: автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук. Одесса, 1971. 26 с.

3. *Олянский Ю. И.* Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах Республики Молдова). Кишинев: Штиинца, 1992. 130 с.

4. *Негадаев-Никонов К. Н., Яновский П. В.* Четвертичные отложения Молдавской ССР. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1969. 81 с.

5. *Веклич М. Ф.* Стратиграфия лессовой формации Украины и соседних стран. Киев: Наукова думка, 1968. 238 с.

6. *Олянский Ю. И., Богдевич О. П., Вовк В. М.* Инженерно-геологические особенности лессовых пород Молдавии // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1994. № 1. С. 65—75.

7. *Трофимов В. Т.* Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты): автореф. дис. … д-ра геол.-мин. наук. М., 1976. 49 с.

8. Инженерная геология СССР. Т. 1. М. : Изд-во МГУ, 1978. 528 с.

9. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Т. М. Тихонова, И. Ю. Кузьменко. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2015. 204 с.

10. *Мозговой О. И.* Исследование просадочности лессовых пород Дагестана разными методами // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. Вып. 3. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1972. С. 69—75.

11. *Сквалецкий Е. Н.* К количественному прогнозу послепросадочного уплотнения лессовых грунтов // Инженерная геология. 1983. № 2. С. 48—58.

12. *Olyanskii Y. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.* Predicting the post-subsidence consolidation of slowly subsiding loess soils in constructing hydraulic structures // Power Technology and Engineering. 2020. Vol. 53. Iss. 5. Pp. 545—548.

13. O*lyanskii Y. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.* Forecast of magnitude post-subsidence compaction at the bulding on slow-subsidence of loess soils // E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. P. 04001.

14. *Olyansky Y., Kalinovsky S.* Features of construction of buildings and constructions on loessial the bases in Moldova // XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction – The Formation of Living Environment, FORM 2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 062034.

15. *Olyansky Y. I., Kuzmenko I. Y., Shchekochikhina E. V.* Features of construction buildings on the loessial soil of central Moldova // Procedia Engineering. 2016. Pp. 2208—2212.

16. Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Researctes of the seismic properties of clay soils for seismic microzoning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference “FarEastCon 2019”. 2020. P. 022005.

17. *Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A.* Features of assessment of subsidence properties of loess rocks in the design of bases and foundations in central Moldova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 042058.

18. *Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А.* Прогнозирование послепросадочного уплотнения замедленно просадочных лессовых грунтов при строительстве гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2019. № 8. С. 13—17.

19. *Олянский Ю. И.* Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Естественные науки. 2005. Вып. 4(14). Pp. 81—85.

20. *Щекочихина Е. В., Калиновский А. С., Степанова Е. А.* Цель и задачи инженерно-геологических изысканий для проектирования гидротехнического строительства на просадочных грунтах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 51(70). С. 5—13.

21. *Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Махов И. Д.* Исследование зависимости просадочности лессовых пород юга Русской плиты от географо-климатических факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 15—22.

22. *Богомолов А. Н., Скибин Г. М., Олянский Ю. И., Махова С. И.* Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 98—115.

23. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленно просадочных грунтах I и II типа по просадочности / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Л. А. Анисимов, Е. В. Щекочихина, А. Ф. Алексеев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 14—23.

24. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. В. Кузнецова, И. Ю. Кузьменко, Е. В. Щекочихина, С. А. Чарыкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44(2). С. 31—39.

25. *Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А.* Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных районах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 30—37.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород Северного Причерноморья в связи с их послепросадочным уплотнением // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 5—16.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olyansk@list.ru

Щекочихина Евгения Викторовна — канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; karnat.1@yandex.ru

Yurii I. Olyanskii, Evgeniya V. Shchekochikhina

Volgograd State Technical University

ENGINEERING AND GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LOSS ROCKS IN THE NORTHERN BLACK SEA IN CONNECTION WITH THEIR POST-SETTING COMPACT

Based on the analysis of the results of our own research, data on the composition, physical and mechanical properties, subsidence and post-subsidence compaction of loess rocks from geotechnical regions and areas of the territory of Moldova are presented. The method of probabilistic analogies is recommended to predict the magnitude of post-settlement compaction. A map of typological engineering-geological zoning of the described territory has been compiled.

K e y w o r d s: loess rocks, subsidence, post-subsidence compaction, engineering-geological zoning, probabilistic analogies.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V. [Engineering and geological characteristics of loss rocks in the Northern Black Sea in connection with their post-setting compact]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 5—16.

About authors:

Yurii I. Olyanskii — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olyansk@list.ru

Evgeniya V. Shchekochikhina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; karnat.1@yandex.ru

УДК 625.72, 681.5

С. В. Алексиков, И. С. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман

Волгоградский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОРОЖНЫХ МАШИН НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Приведена методика расчета производительности современных дорожно-строительных машин, не учтенных нормативными документами, на основе многофакторного регрессионного анализа зависимости сменной выработки однотипных механизмов от их технических параметров. Доказано, что ошибка определения производительности строительных машин и, соответственно, интенсивности потребления ресурсов в строительстве не превышает 20 %.

Ключевые слова: производительность, дорожные машины, технические параметры машин, ресурсопотребление, природно-климатические условия, автомобильная дорога.

Обеспечение строительных процессов производственными ресурсами является определяющим элементом организации строительства, напрямую зависит от уровня квалификации кадров, обоснованности принимаемых проектных решений, качества управления материально-техническим снабжением и реализации строительного проекта в целом [1—5]. Разработка одного из основных проектных документов в составе ПОС и ППР — графика поставки материально-технических ресурсов — невозможна без всестороннего анализа изменения интенсивности потребления материалов и энергоносителей в ходе строительства [2, 3].

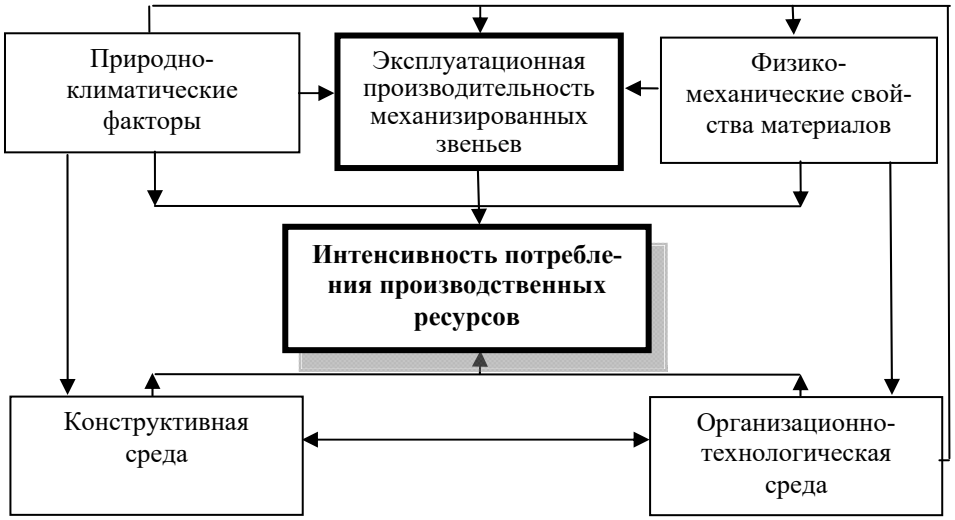


Рис. 1. Структурная схема зависимости интенсивности потребления ресурсов от производственных факторов

Исследования [3, 4] показывают, что интенсивность потребления производственных ресурсов $I_р$ определяется удельным нормативом расхода мате-

риалов, полуфабрикатов и энергоносителей на единицу строительной продукции и в основном зависит от эксплуатационной производительности механизированных звеньев, природно-климатических факторов в период производства работ, физико-механических свойств перерабатываемых материалов, конструктивных особенностей строительных объектов, организации и технологии производства работ (рис. 1):

$$I_{\text{р}} = \frac{t_{\text{см}} H_{\text{р}} \Pi_{\text{н}} K_{\text{зр}}}{K_{\text{п}} K_t K_{\text{о}}}, \quad (1)$$

где $H_{\text{р}}$ — нормативный удельный расход производственных ресурсов на единицу строительной продукции; $t_{\text{см}}$ — продолжительность рабочей смены, ч; $\Pi_{\text{н}}$ — нормативная производительность машин в час; $K_{\text{п}}$ — коэффициент влияния погодных условий на производительность труда в теплый и холодный периоды года; K_t — коэффициент, учитывающий влияние на производительность труда перерывов в зимний период при неблагоприятном сочетании климатических факторов; $K_{\text{о}}$ — коэффициент влияния условий освещенности места работ на производительность труда; $K_{\text{зр}}$ — коэффициент влияния физико-механических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов на техническую производительность машин.

Выделенные группы производственных факторов взаимосвязаны между собой, формируют номенклатуру и интенсивность потребления ресурсов в ходе реализации строительного объекта.

Природно-климатические факторы — температура воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки, влажность воздуха, продолжительность светового дня — влияют на физико-механические свойства перерабатываемых материалов, определяют эксплуатационную производительность дорожно-строительных машин и механизмов в жаркое или холодное время года [4—8].

Физико-механические свойства материалов — тип и влажность грунта, температура асфальтобетонной или цементобетонной смеси, прочность щебня, температура грунта в зимний период времени — меняются в течение строительного сезона под воздействием природно-климатических факторов и оказывают влияние на производительность машин (налипание на рабочий орган, снижение проходимости землеройно-транспортных машин и автотранспорта при работе с переувлажненными грунтами и т. п.) [8—10].

Производительность механизированных звеньев оценивается эксплуатационной производительностью ведущих машин и составом механизированных отрядов. Эксплуатационная производительность ведущих машин определяет суточную потребность строительного объекта в строительных материалах и полуфабрикатах, состав отрядов — потребность в энергоресурсах (ГСМ) [8—14].

Конструктивная среда определяет номенклатуру и расход строительных материалов и полуфабрикатов, приоритетность в потреблении материалов, оказывает влияние на организацию и технологию производства работ (требования к прочности каменных материалов определяют источник поставки материала и дальность его транспортировки; общая толщина основания дорожной одежды определяет количество слоев его устройства и т. п.) [9—11, 15].

Организационно-технологическая среда оценивается дальностью транспортировки материалов и видом транспорта, состоянием подъездных дорог, последовательностью, сроками и технологией производства работ, количеством и составом специализированных строительных отрядов. Это определяет сроки поставки ресурсов на объект, интенсивность потребления материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов [8—14].

Эксплуатационная производительность механизированных звеньев является определяющим фактором в формировании интенсивности потребления производственных ресурсов (материалов, топлива). При этом интенсивность потребления строительных материалов и полуфабрикатов определяется эксплуатационной производительностью ведущих машин, а интенсивность потребления топлива напрямую зависит от состава механизированных звеньев и коэффициента использования парка машин во времени. Так, при сооружении земляного полотна из привозного грунта интенсивность потребления энергоресурсов в основном определяется эксплуатационной производительностью системы «экскаватор — автотранспорт». Интенсивность потребления асфальтобетонной смеси при устройстве дорожного покрытия в основном зависит от эксплуатационной производительности асфальтоукладчиков, при дефиците транспортных средств — производительности автотранспортного звена по перевозке смеси от АБЗ к месту укладки.

Производительность дорожно-строительных машин может быть рассчитана:

с использованием норм времени (НВ) работы механизмов на единицу продукции $V_{ед}$, приведенных в [17], по формуле

$$П_{н} = \frac{V_{ед}}{НВ}, \quad (2)$$

где $П_{н}$ — нормативная производительность;

по формулам, приведенным в отраслевых дорожных документах и методических указаниях [9—11, 16].

В настоящее время на рынке дорожных работ появилось большое количество новых прогрессивных материалов, технологий и механизмов. Обновление нормативно-справочной литературы (ГЭСН, ЕНиР, ОДН) отстает от темпов внедрения в строительное производство современных методов производства работ. При разработке проектной документации (ПОС, ППР) проектировщики зачастую вынуждены назначать эксплуатационную производительность современных машин интуитивно, методом аналогий, по нормам времени, приведенным в различных нормативных документах [9—17]. В результате этого ошибка в назначении производительности механизированных звеньев, а следовательно, сроков строительства и интенсивности потребления производственных ресурсов достигает 20—50 % [18].

При отсутствии обоснованных норм времени на производство строительных работ представляется перспективным назначать производительность современных машин на основе многофакторного регрессионного анализа зависимости сменной выработки однотипных механизмов от их технических параметров. В качестве уравнения регрессии предлагается использовать производственную функцию вида:

$$П_н = C_0 X_1^{\alpha 1} X_2^{\alpha 2} X_3^{\alpha 3}, \quad (3)$$

где C_0 — коэффициент масштабирования; X_1, X_2, X_3 — технические параметры машины, определяющие ее производительность; α1, α2, α3 — коэффициенты влияния технических параметров машины на производительность.

Предлагаемая функция достаточно эффективно используется в экономических исследованиях для оценки влияния производственных факторов на работу отдельных предприятий и целых отраслей хозяйства [19—21]. В дорожном строительстве функция (2) была впервые использована проф. В. С. Боровиком при оценке реакции производственных показателей работы строительной организаций на внедрение нововведений в строительный процесс [19]. Использование функции (3) позволяет обосновать техническую производительность современных машин по их известным техническим характеристикам (мощность двигателя, масса, емкость ковша и т. п.). Кроме того, регрессионный анализ позволяет оценить влияние технических характеристик основных дорожно-строительных машин на их нормативную производительность, разработать техническую политику обновления или модернизации машинного парка организации с учетом предполагаемого характера и объемов работ. В качестве исходных массивов возможно использование данных о технических характеристиках машин и механизмов с известной производительностью, приведенных в существующих справочниках, каталогах дорожно-строительной техники и нормативно-справочной литературе.

В качестве примера предлагается оценка нормативной производительности основных механизмов, используемых при сооружении земляного полотна и устройстве асфальтобетонного покрытия: бульдозера — при сооружении земляного полотна из боковых резервов, скрепера самоходного — при перемещении грунта до 500 м, асфальтоукладчика и гладковальцового моторного катка — при уплотнении щебня. Отбор факторных признаков в многофакторную регрессионную модель (2) выполнен на основе корреляционного анализа. В результате статистической обработки массива из 476 данных о технических характеристиках 32 механизмов установлены наиболее весомые факторы, определяющие техническую производительность машин (табл. 1). Значения коэффициентов масштабирования и весомости факторов функции (2) приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения факторов, определяющих производительность машин

Наименование машины	X_1	X_2	X_3
Бульдозер	Дальность перемещения грунта	Мощность двигателя	Площадь отвала
Скрепер самоходный	Дальность перемещения грунта	Мощность двигателя	Емкость ковша
Каток моторный гладковальцовый	Масса катка	Ширина уплотняемой полосы	Число проходов по следу
Асфальтоукладчик	Максимальная толщина слоя укладки	Мощность двигателя	—

Таблица 2

Значения коэффициентов C_0, α1, α2, α3

Наименование машины	C_0	α1	α2	α3	Коэффициент корреляции
Бульдозер для грунтов 1-й группы	705,18	–0,95	0,77	0,45	0,98
Бульдозер для грунтов 2-й группы	359,80	–0,92	0,68	0,57	0,98
Бульдозер для грунтов 3-й группы	397,45	–0,89	0,69	0,57	0,97
Скрепер самоходный для грунтов 1-й группы	82,33	–0,72	0,56	0,36	0,98
Скрепер самоходный для грунтов 2-й группы	121,32	–0,72	0,465	0,35	0,98
Каток моторный гладковальцовый	75,72	0,35	0,02	–1,03	0,76
Асфальтоукладчик	0,23	0,47	1,08	—	0,96

Ошибка в определении производительности машин с помощью функции (2), как правило, не превышает 20 %, коэффициент корреляции 0,76—0,98 (рис. 2).

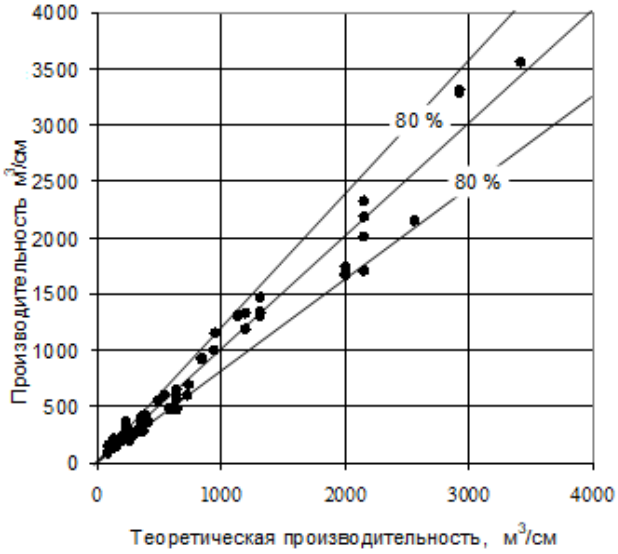


Рис. 2. Оценка точности расчета производительности бульдозера функцией (3)

Для сравнения произведен расчет производительности по формулам [17]. Ошибка расчета производительности машин для гладковальцовых катков составила от 30 до 46 %, для асфальтоукладчиков — от 20 до 49 % (табл. 3).

Таблица 3

Оценка точности определения производительности дорожно-строительных машин

Наименование машины	Относительная ошибка расчета, %			
	по ВСН 14-95		по производственной функции	
	мин	макс	мин	макс
Катки моторные гладковальцовые	–30	46	–24	14
Асфальтоукладчики	20	49	–18	22

Расчет по формуле (3) позволил снизить ошибку в определении производительности: для гладковальцовых катков — от 14 до 24 %, для асфальтоукладчиков — от 18 до 37 %. Оценка точности расчета производительности моторного катка С350Д приведена на рис. 3.

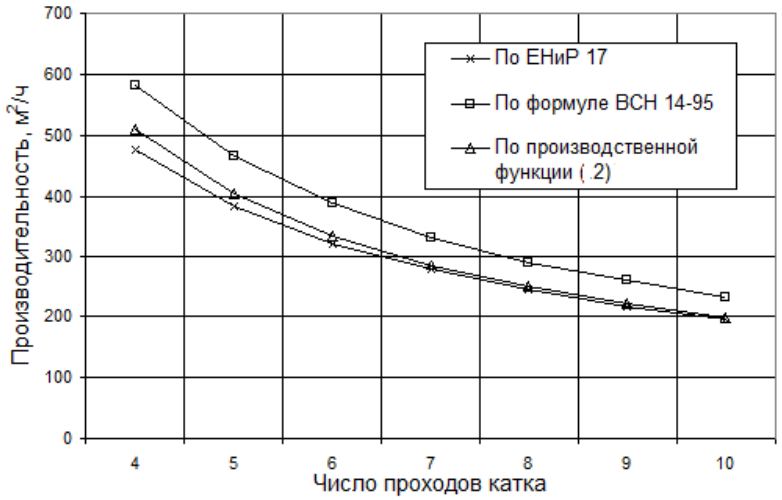


Рис. 3. Сравнение результатов расчета производительности моторного катка С 350 Д при уплотнении основания из щебня

Выводы

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о возможности обоснования производительности современных строительных машин и интенсивности потребления материальных ресурсов по техническим характеристикам дорожно-строительных машин с помощью производственной функции (2). В отличие от расчетных формул, приведенных в [2, 8—11, 16—18], ошибка определения производительности строительных машин и, соответственно, интенсивности потребления ресурсов в строительстве не превышает 20 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексиков С. В., Фирайнер М. И.* Оптимизация графика поставки материалов на объекты дорожного строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2005. Вып. 5(17). С. 64—69.

2. *Афанасьев В. А., Афанасьев А. В*. Поточная организация работ в строительстве : учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2000. 150 с.

3. *Алексиков С. В*. Оптимизация сводного графика поставки ресурсов в условиях многообъектного строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2006. Вып. 6(21). С. 99—101.

4. *Алексиков С. В.* Ресурсное обеспечение технологических процессов в дорожном строительстве. Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. 208 с.

5. *Алексиков С. В.* Основы анализа производственного риска в дорожном строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2002. Вып. 2. С. 222—224.

6. *Алексиков С. В.* Сооружение полотна автомобильных дорог из грунтов повышенной влажности с их естественным просушиванием : дис. … канд. техн. наук. Омск, 1984. 213 с.

7. Методические рекомендации по разработке выемок в глинистых грунтах влажностью выше оптимальной и использованию этих грунтов для возведения насыпей автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах. М.: Союздорнии, 1988. 63 с.

8. *Могилевич В. М.* Организация и технология дорожно-строительных работ в зимнее время. М.: Высшая школа, 1971. 276 с.

9. *Могилевич В. М., Боброва Т. В.* Организация дорожно-строительных работ. М.: Транспорт, 1990. 151 с.

10. *Пермяков В. Б.* Комплексная механизация строительства. М. : Высшая школа, 2005. 383 с.

11. Организация строительного производства / Т. Н. Цай, П. Г. Грабовый, В. А. Большаков. М.: АСВ, 1999. 432 с.

12. Немчинов М. В., Микрин В. И., Евгеньев Г. И. Энергосбережение в дорожном хозяйстве и программа его осуществления // Энергосбережение. 2001. № 3. С. 21—27.

13. *Питеркин С. В.* Планирование производства и управление запасами. Портал машиностроения. URL: http//www.mashportal.ru.

14. *Руденский А. В.* Анализ энергозатрат — объективный критерий технической эффективности решений по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий // Дороги России XXI века. 2005. № 4. С. 52—61.

15. ОДН 218.046-01. Проектирование дорожных одежд. М., 2001. 168 с.

16. Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований, автомобильных дорог и аэродромов. М. : СоюздорНИИ, 1991. 134 с.

17. ЕНиР. Сб. Е17: Строительство автомобильных дорог / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1991. 48 с.

18. *Солодкий А. И., Карпов Б. Н.* Календарное планирование строительства и ремонта автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1995. 119 с.

19. *Боровик В. С.* Проектирование организации нововведений в дорожно-строительных работах : дис. … д-ра техн. наук. М., 1999. 256 с.

20. New Frontal Instability: Theory and ERICA Observations / N. A. Paldor, C. H. Liu, M. Ghil, R. M. Wakimoto // J. Atm. Sci. 1994. Vol. 51. Iss. 22. Pp. 3227—3237.

21. UNIDO Manual for the Preparation or Industrial Feasibility Studies. Vienna: UNIDO, 1986.

© Алексиков С. В., Алексиков И. С., Лескин А. И., Гофман Д. И., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Влияние производительности дорожных машин на интенсивность ресурсопотребления в строительстве / С. В. Алексиков, И. С. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 17—24.

Об авторах:

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; AL34rus@mail.ru

Алексиков Илья Сергеевич — канд. техн. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович — старший преподаватель каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dima.0103@mail.ru

Sergei V. Aleksikov, Il'ya S. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman

Volgograd State Technical University

IMPACT OF ROAD MACHINERY PERFORMANCE ON THE INTENSITY OF RESOURCE CONSUMPTION IN CONSTRUCTION

The method of calculating the performance of modern road construction machines that are not taken into account by regulatory documents, based on a regression analysis of their main technical parameters, is presented. It is proved that the error in determining the performance of construction machines and, accordingly, the intensity of resource consumption in construction does not exceed 20 %.

K e y w o r d s: productivity, road machines, technical parameters of machines, resource consumption, natural and climatic conditions, road.

For citation:

Aleksikov S. V., Aleksikov I. S., Leskin A. I., Gofman D. I. [Impact of road machinery performance on the intensity of resource consumption in construction]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 17—24.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

Il'ya S. Aleksikov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; leskien@inbox.ru

Dmitrii I. Gofman — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dima.0103@mail.ru

УДК 504/625

Н. И. Шестаков, Б. П. Титаренко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

СРАВНЕНИЕ БИОПОЗИТИВНОСТИ ПОКРЫТИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

При выборе варианта типа покрытия дорожных одежд обоснование проводится в основном по технико-экономическим показателям, практически не учитывая негативного влияния применяемых материалов на окружающую среду. В статье предложен метод численной оценки показателя биопозитивности при сравнительном анализе типов дорожных покрытий на примере асфальтобетонных, щебеночно-мастичных и цементобетонных покрытий. Для расчета предложен метод анализа иерархий, который основан на принципах декомпозиции, парных сравнений и синтеза приоритетов. В общем случае оценка биопозитивности представляет собой иерархическую процедуру, включающую операции, связанные с преобразованием шкалы и ее агрегированием. Как показали представленные расчеты, асфальтобетонное покрытие имеет самый высокий уровень показателя биопозитивности среди других рассмотренных вариантов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильные дороги, дорожная одежда, биопозитивность, критерии биопозитивности, метод анализа иерархий.

Развитие строительной отрасли должно идти в русле устойчивого инновационного развития, стремясь к снижению потребления природных ресурсов и минимизации техногенных воздействий на окружающую среду [1] за счет использования биопозитивных производственных технологий.

Обоснование выбора конструкции дорожной одежды, в которую входит покрытие автомобильной дороги, производится по технологическим и экономическим параметрам.

Экономичность определяют затратами на строительство, ремонт, содержание проезжей части, перевозку пассажиров и грузов, потерями времени пассажиров в пути, дорожно-транспортными происшествиями. Под надежностью понимают экономически обоснованную вероятность безотказной работы дорожной одежды [2—4]. С увеличением надежности дорожной одежды, как правило, возрастают затраты на ее строительство, но снижаются эксплуатационные показатели.

Т а б л и ц а 1

Рассматриваемые варианты покрытия дорожной одежды

№	Тип покрытия	Компоненты, входящие в состав
1	Асфальтобетонное	Битум, щебень, песок, минеральный порошок
2	Щебеночно-мастичное асфальтобетонное	Битум, щебень, песок, минеральный порошок, стабилизирующая добавка
3	Цементобетонное	Портландцемент, щебень, песок, вода, воздухововлекающая добавка

Оценка биопозитивности проводится на этапе производства дорожно-строительных материалов и устройства покрытия и не рассматривает аспекты, связанные с их эксплуатацией и последующей утилизацией.

Определение численного показателя биопозитивности выполняется по критериям, представленным в табл. 2.

Таблица 2

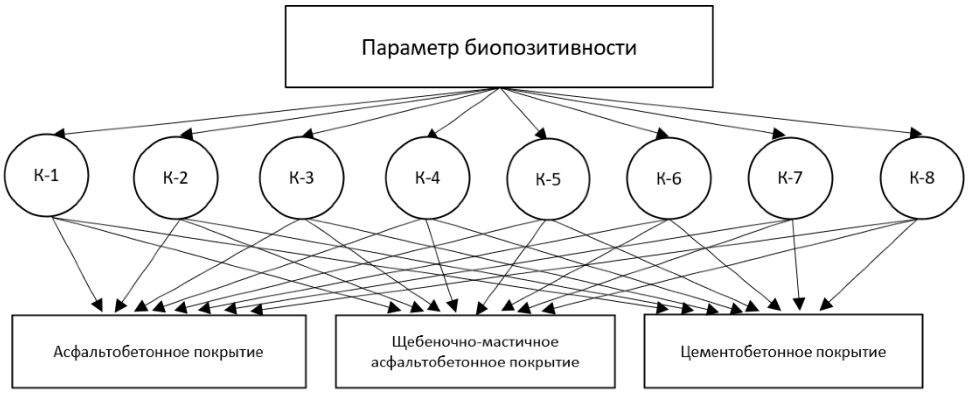
Критерии биопозитивности

Обозначение критерия	Описание критерия	Обозначение критерия	Описание критерия
К1	Выбросы в атмосферу	К5	Потребление электроэнергии
К2	Сбросы в воду	К6	Занимаемое пространство
К3	Образование отходов	К7	Выделение тепловой энергии
К4	Использование природных ресурсов	К8	Вибрационное и шумовое воздействие

Метод анализа иерархий (МАИ) состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решения по парным сравнениям. В основе МАИ лежат три принципа: декомпозиции, парных сравнений и синтеза приоритетов [5—7].

В МАИ основная цель исследования и все факторы, в той или иной степени влияющие на достижение поставленной цели, распределяются по уровням. На первом уровне всегда находится одна вершина — цель проводимого исследования. Второй уровень иерархии составляют факторы, непосредственно влияющие на достижение поставленной цели. На последнем уровне определяются все возможные альтернативы достижения поставленной цели.

Графическую интерпретацию декомпозиции задачи (биопозитивности) в иерархию можно представить в виде схемы (рис.).



Декомпозиция биопозитивности в иерархию

Принцип парных сравнений

Принцип парных сравнений заключается в том, что все элементы задачи (факторы) сравниваются попарно по отношению к воздействию на общую характеристику, т. е. определяется вес или интенсивность каждого элемента (фактора). Обозначим множество сравниваемых элементов: C_1, C_2, C_3, …, C_n.

Веса этих элементов обозначим соответственно: V_1, V_2, V_3, …, V_n. Результаты сравнения представляются в виде матрицы парных сравнений.

В связи с тем, что каждый из перечисленных критериев имеет разную степень значимости, на первом этапе необходимо оценить значимость каждого критерия с точки зрения экспертной оценки.

Принцип синтеза приоритетов

Принцип синтеза приоритетов заключается в разработке глобального критерия на основе системы локальных критериев. Локальные критерии определяются как векторы приоритетов каждой матрицы парных сравнений.

Собственный вектор матрицы обозначается $A = (a_1, a_2, a_3, \ldots, a_8)$, где a_1, $a_2, a_3, \ldots, a_8$ — значения компонент собственного вектора матрицы.

Расчет собственного вектора матрицы A выполняется в следующей последовательности [8]:

1) определяем среднее геометрическое по каждой строке матрицы парных сравнений;

2) складываем элементы этого столбца;

3) делим каждый из элементов на полученную сумму.

В общем виде значения компонент собственного вектора матрицы могут быть представлены в следующем виде:

$$a_n = \sqrt[n]{\left[\frac{v_n}{v_1} \cdot \frac{v_n}{v_2} \cdot \ldots \cdot \frac{v_n}{v_n}\right]}.$$

Итогом этих операций будет собственный вектор матрицы A. Далее рассчитывается **вектор приоритетов *X***, который и будет показывать значимость сравниваемых элементов.

$X = (x_1, x_2, x_3, \ldots, x_8)$,

где $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_8$ — значения компонент вектора приоритетов.

Компоненты вектора приоритетов могут быть определены по следующим формулам:

$$x_1 = \frac{a_1}{S_a}, x_2 = \frac{a_2}{S_a}, \ldots, x_n = \frac{a_n}{S_a},$$

где S_a — сумма значений компонент собственного вектора матрицы.

$S_a = a_1 + a_2 + \ldots + a_n$.

Этап 1. Определение значимости критериев

Для этого строится матрица парных сравнений критериев по шкале относительной важности, где: «0» — варианты не сравнимы; «1» — равная важность; «3» — умеренное превосходство одного над другим; «5» — существенное, или сильное, превосходство; «2» или «4» — промежуточные решения между двумя соседними суждениями [9].

В матрице парных сравнений заполняется только верхний правый треугольник (выделенный зеленым цветом). Нижний левый треугольник заполняется на основе расчетных данных по обратным значениям, соответствующих данным верхнего правого угла.

Далее необходимо рассчитать собственный вектор матрицы *A* и вектор приоритетов *X*. Компоненты собственного вектора матрицы *A* рассчитываются как среднее геометрическое. Вектор локальных приоритетов *X* будет показывать значимость сравниваемых критериев с точки зрения экспертной оценки. Компонента вектора приоритетов определяется как отношение компоненты собственного вектора матрицы к сумме значений его компоненты. Также в итоговой строке всех столбов вычисляется суммарное значение всего столбца. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Итоговая матрица парных сравнений

	К1	**К2**	**К3**	**К4**	**К5**	**К6**	**К7**	**К8**	***A***	***X***
К1	1	1	1/3	1/3	3	3	3	3	1,316	0,136
К2	1	1	1/3	1/3	3	3	3	3	1,316	0,136
К3	3	3	1	1	3	3	3	3	2,279	0,235
К4	3	3	1	1	5	3	3	3	2,429	0,251
К5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	3	1	1	0,621	0,064
К6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0,382	0,039
К7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	1	1	0,662	0,069
К8	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	1	1	0,662	0,069
Σ	9,33	9,33	4,00	3,87	17,33	22,00	15,33	15,33	9,670	1,00

Так как степень значения критерия К3 умеренно превосходит значимость критерия К1, то в ячейке их пересечения указывается значение «1/3». При степени значимости критерия К1, умеренно превосходящего значимость критерия К5, поставлена обратная оценка со значением «3».

Далее определяется согласованность проведенных оценок [10] путем определения отношения согласованности (ОС) по следующей формуле:

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СС}} \le 20\ \%,$$

где ОС — отношение согласованности; ИС — индекс согласованности; СС — величина, соответствующая средней случайной согласованности матрицы такого порядка. При размере матрицы 8 величина средней случайной согласованности составляет 1,41 [11, 12].

Индекс согласованности определяется по следующей формуле:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max}}{n-1},$$

где n — число сравниваемых элементов (в нашем расчете $n = 8$), $\lambda_{\max}$ — расчетная величина.

Для расчета $\lambda_{\max}$ определяется сумма по каждому столбцу матрицы, которая умножается на соответствующую компоненту вектора приоритетов. Условно это можно представить в следующем виде:

$$\sum S_1 x_1 + \sum S_2 x_2 + \sum S_3 x_3 + \ldots + \sum S_n x_n = \lambda_{\max},$$

где $\sum S_1$, $\sum S_2$, $\sum S_3$, …, $\sum S_n$ — сумма элементов соответствующих столбцов матрицы. Полученные значения вектора приоритетов X представляют собой систему локальных критериев, на основе которых рассчитывается глобальный приоритет альтернативы по каждому варианту.

$$P_{j\Gamma} = \sum_{i=1}^{m} P_j(i) \cdot b(i),$$

$P_{j\Gamma}(i)$ — приоритет j-й альтернативы по i-му критерию; $b(i)$ — приоритет или значимость i-го критерия. Тогда: λ = 8,539; ИС = 0,077; ОС = 5,46 %.

Поскольку ОС не превышает 20 %, то результаты экспертной оценки могут быть использованы в дальнейших расчетах [13, 14].

Этап 2. Определение приоритетов типов устройства покрытий автомобильных дорог по критериям биопозитивности

К1. Выбросы в атмосферу. Для определения приоритетов технологий по критерию «выбросы в атмосферу» необходимо провести их парное сравнение и расставить оценки, заполняя только правый верхний треугольник матрицы. Выбор оценки осуществляется при парном сравнении критериев по шкале относительной важности.

При производстве асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей нагрев инертных материалов происходит в специальных сушильных агрегатах за счет сжигания топлива и получения раскаленных газов, за счет работы топочного агрегата.

Сушильные барабаны в асфальтосмесительной установке являются очагом интенсивного пылеобразования, что приводит к запыленности и загазованности воздуха на асфальтобетонном заводе и прилегающих к нему территориях. В процессе сушки и подготовки инертных компонентов происходит отделение пылевидных фракций, которые выносятся из сушильного барабана с потоком отходящих газов на скорости до 10 м/с. Количество частиц, выносимое на такой скорости, может составлять 6—8 % от массы подготавливаемого минерального материала, что соответствует запыленности выбрасываемых газов 300—400 г/м^3.

В процесс производства асфальтобетонных смесей в атмосферу выделяются следующие загрязняющие вещества: неорганическая пыль с разным содержанием диоксида кремния; оксиды углерода и азота; ангидрид сернистый (серы диоксид); углеводороды, в частности полициклические; мазутная зола (в пересчете на ванадий) при применении мазута в качестве топлива; сажа при работе на дизельном топливе. При повышении температуры выхода смеси из смесительного агрегата количество вредных веществ возрастает, а так как температура производства щебеночно-мастичного асфальтобетона выше в среднем на 30 °С, это должно учитываться при сравнении технологий устройства покрытий [15].

При производстве бетонных смесей для цементобетонных покрытий отсутствуют сушильные и тепловые агрегаты, а основные загрязняющие вещества образуются при работе с тонкодисперсными материалами (цемент, пылевидные и глинистые примеси в песке), что необходимо отобразить при сравнении критерия такой технологии.

Матрица последовательного расчета критериев представлена в табл. 4.

Таблица 4

Результаты определения параметров биопозитивности по параметрам К-1—К-8

К1. Выбросы в атмосферу					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1/3	3	1	0,258
ЩМА	3	1	5	2,466	0,637
ЦБ	1/3	1/5	1	0,405	0,105
Σ	4,33	1,53	9,00	3,87	1,00
К2. Сбросы в воду					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1	1/5	0,585	0,143
ЩМА	1	1	1/5	0,585	0,143
ЦБ	5	5	1	2,924	0,714
Σ	7,00	7,00	1,40	4,09	1,00
К3. Образование отходов					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1	1/3	0,693	0,2
ЩМА	1	1	1/3	0,693	0,2
ЦБ	3	3	1	2,080	0,6
Σ	5,00	5,00	1,67	3,47	1,00
К4. Использование природных ресурсов					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1/3	1/5	0,405	0,097
ЩМА	3	1	1/5	0,843	0,202
ЦБ	5	5	1	2,924	0,701
Σ	9,00	6,33	1,40	4,17	1,00
К5. Потребление электроэнергии					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1/3	5	1,186	0,297
ЩМА	3	1	5	2,466	0,618
ЦБ	1/5	1/5	1	0,342	0,085
Σ	4,20	1,53	11,00	3,99	1,00
К6. Занимаемое пространство					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1	3	1,442	0,428
ЩМА	1	1	3	1,442	0,428
ЦБ	1/3	1/3	1	0,481	0,144
Σ	2,33	2,33	7,00	3,37	1,00
К7. Выделение тепловой энергии					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1/3	5	1,186	0,297
ЩМА	3	1	5	2,466	0,617
ЦБ	1/5	1/5	1	0,342	0,086
Σ	4,20	1,53	11,00	3,99	1,00
К8. Вибрационное воздействие					
	АБ	ЩМА	ЦБ	А	Х
АБ	1	1/3	3	1	0,281
ЩМА	3	1	3	2,080	0,584
ЦБ	1/3	1/3	1	0,481	0,135
Σ	4,33	1,67	7,00	3,56	1,00

К2. Сбросы в воду. При производстве асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей сбросы в воду практически не осуществляются, так как в роли вяжущего применяется битум, который обладает гидрофобными свойствами. При производстве бетонных смесей вода не только является необходимым компонентом, но и применяется для промывки различного оборудования (смесительное, распределительное и т. д.) и машин, осуществляющих доставку смесей и их укладку в слои покрытия. Эти факторы необходимо учесть для рациональной оценки критерия.

К3. Образование отходов. Рассматриваемые типы устройства дорожных покрытий не образуют отходов или каких-либо сопутствующих компонентов. Тем не менее при устройстве покрытий на основе минеральных вяжущих (цементобетон) ввиду необратимой реакции гидратации вяжущего и учета времени может образовываться некоторое количество частично прогидротированной смеси, которая не пойдет в устройство покрытия из-за низкой активности. Такой фактор отличает применение цементобетонов от применения асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей и дает некоторый учет при парном сравнении типов покрытия.

К4. Использование природных ресурсов. Основными компонентами для производства асфальтобетона являются: щебень (гравий), песок, минеральный порошок и битум. При производстве щебеночно-мастичных смесей обязательным компонентом, контролирующим показатель стекания, является стабилизирующая добавка волокнистой структуры (на основе целлюлозы или асбеста) в количестве до 0,5 % от массы смеси. Также при производстве ЩМА смесей используется большее количество минерального порошка и битума, которые являются сложнопроизводимыми материалами в отличие от песка и гравия, что необходимо учесть при оценке. Состав цементобетона отличается отсутствием минерального порошка и заменой органического вяжущего на цемент, который для производств требует намного больше природных ресурсов (глина, известняк, гипс), чем все остальные компоненты.

К5. Потребление электроэнергии. Асфальтобетонные заводы в процессе производства асфальтобетонных смесей в среднем при производительности 160 т/ч потребляют 340 кВт, при переходе к приведенным значениям на 1 т получаем 2,125. При производстве щебеночно-мастичных смесей потребляемая мощность возрастает за счет повышения температуры и вязкости смеси. Завод по производству бетонных смесей производительностью 35 $м^3$/ч потребляет 30 кВт, для производства 1 $м^3$ расходуется 1,16 кВт с учетом плотности бетонных смесей 2400 кг/$м^3$, тогда как для получения 1 т бетонной смеси расходуется 0,48 кВт.

К6. Занимаемые пространства асфальтобетонных заводов и бетонно-растворных узлов в целом являются сопоставимыми, тем не менее на асфальтобетонных заводах есть несколько дополнительных агрегатов и узлов, которые требуют большей территории для расположения (битумохранилища, системы транспортировки битума внутри завода, топочные агрегаты и котлы).

К7. Выделение тепловой энергии. При производстве материалов на основе битума потребляется большое количество тепловой энергии, которая в дальнейшем выделяется в процессе укладки покрытий.

Температура вяжущего, щебня, песка и асфальтобетонной смеси должна соответствовать требованиям СП 78.13330, как указано в табл. 5.

Таблица 5

Температура нагрева битума в зависимости от его марки при производстве асфальтобетона

Марка битума	Температура, °С			
	вяжущего в смесителе	минеральных материалов	смеси при отгрузке	смеси при уплотнении
50—70	140—150	180—190	150—160	140—160
70—100	135—145	175—185	145—155	138—150
100—130	130—140	170—180	140—150	130—140
130—200	120—130	160—170	130—140	120—130

Для щебеночно-мастичных смесей эта температура несколько выше и регламентируется требованиями ГОСТ 31015, представленными в табл. 6.

Таблица 6

Температура нагрева битума в зависимости от его марки при производстве щебночно-мастичного асфальтобетона

Марка битума	Температура, °С	
	смеси при отгрузке	смеси при уплотнении
50—70	160—175	150
70—100	155—170	145
100—130	150—165	140
130—200	140—160	135

При производстве бетонных смесей, а также в момент устройства покрытий из них выделение тепловой энергии практически не происходит.

К8. Вибрационное воздействие может возникать при производстве материалов, а также в момент укладки и уплотнения слоев покрытия. Так как щебеночно-мастичный асфальтобетон содержит большее количество щебня, то и для уплотнения слоя покрытия понадобится больше проходов уплотняющих устройств, чем для асфальтобетонов. При применении жестких смесей для устройства цементобетонных смесей также используются поверхностные вибрационные устройства, однако их вынуждающая сила вибрации значительно ниже.

На последнем этапе определяется глобальный показатель $P_{\text{глоб}}$ экологических параметров рассматриваемых типов устройства покрытий по всем критериям с учетом их значимости. Полученные значения представлены в табл. 7.

Таблица 7

Глобальные показатели экологических параметров

Значимость	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	$P_{\text{глоб}}$
	0,136	0,136	0,235	0,251	0,064	0,039	0,069	0,069	
АБ	0,258	0,143	0,200	0,097	0,297	0,429	0,297	0,281	0,202
ЩМА	0,637	0,143	0,200	0,202	0,618	0,429	0,618	0,584	0,343
ЦБ	0,105	0,714	0,600	0,701	0,086	0,143	0,086	0,135	0,455

Так как величина биопозитивности отображает значения минимального негативного воздействия на природную среду при минимальных ресурсах, то она должна быть обратно пропорциональна рассчитанному глобальному воздействию. Сводные результаты расчетов представлены в табл. 8.

Таблица 8

Расчетные значения биопозитивности

Тип покрытия	$P_{глоб}$	Биопозитивность
АБ	0,202	4,956
ЩМА	0,3432	2,915
ЦБ	0,455	2,196

Таким образом, при устройстве покрытия автомобильной дороги из асфальтобетона будет обеспечено минимальное воздействие на окружающую среду по сравнению с подобными покрытиями из щебеночно-мастичного асфальтобетона или цементобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Suat G.* Analyzing Sustainable Building Construction Project Delivery Practices // Builders' Perspective. 2019. Vol. 24. Iss. 1. Pp. 89—102. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000397.

2. *Yang G., Wenjie J., Zhe W.* A review of operation performances in green buildings: Energy use, indoor environmental quality and occupant satification // Enegry and buildings. 2018. Vol. 183. Pp. 500—514. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.11.017.

3. *Kasharin D. V.* Using biopositive constructions made of composite materials in water and electricity supply for recreational facilities // Conference: 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) 2017. Pp. 1—4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076275.

4. *Xiaohui Du, Bei J.* Discussion on applying trombe wall technology for wall conservation and energy saving in modern historic buildings // International Journal of Architectural Heritage. 2019. Vol. 13. Iss. 4. Pp. 537—548. DOI: 10.1080/15583058.2018.1440029.

5. *Jang W., Lee S. K., Heon S.* Sustainable Performance Index for Assessing the Green Tecnologies in Urban Infrastructure Progects // Journal of Management in Engineering. 2018. Vol. 34. Iss. 5. Pp. 41—68. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000582.

6. *Рыбак В. А., Шокр А.* Аналитический обзор и сравнение существующих технологий поддержки принятия решений // Системный анализ и прикладная информатика. 2016. № 3. С. 12—18.

7. *Федосеев В. Н., Зайцева И. А.* Информационно-аналитический подход к решению сложных слабоструктурированных задач методом анализа иерархий (МАИ) // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2019. С. 72—82.

8. *Рязанцев В. И., Морозов А. В.* Методика проведения согласования экспертных оценок, полученных путем индивидуального анкетирования методом анализа иерархий // Инженерный вестник. 2014. № 12.

9. *Титаренко Б. П.* Математика в управлении проектами — инструмент или способ мышления? // Управление проектами и программами. 2019. № 1. С. 70—72.

10. *Krajnak M.* Analytic hierarchy process in czech taxpayers' decision-making regarding their tax liability // Journal of Tax Reform. 2020. Vol. 6. Iss. 2. Pp. 142—156.

11. *Grabovy P. G., Naumov A. E., Avilova I. P.* Scientific Aspects of Productivity Management in the Investment and Construction Sector // International Business Management. 2016. Vol. 10. Iss. 7. Pp. 1354—1364.

12. *Vargas R.* Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio. Washington: PMI Global Congress, 2010. 22 p.

13. *Фатхудинов А. А.* Выбор средства измерения для учета скважинной продукции с использованием программного обеспечения на основе метода анализа иерархии // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии. Материалы III Международной науч.-практич. конф. молодых ученых. 2018. С. 524—527.

14. *Симченко Н. А., Цёхла С. Ю., Подсмашная И. Н.* Исследование структуры мотивационных ожиданий городского и сельского населения Республики Крым // Российское предпринимательство. 2016. № 14.

15. *Королев Е. В., Иноземцев С. С., Шеховцова С. Ю.* Технология дорожных бетонов. М.: МГСУ, 2020. 97 с.

© *Шестаков Н. И., Титаренко Б. П., 2021*

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Шестаков Н. И., Титаренко Б. П. Сравнение биопозитивности покрытий дорожных одежд методом анализа иерархий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 25—34.

Об авторах:

Шестаков Николай Игоревич — канд. техн. наук, доц. каф. строительных материалов и материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; SHestakovNI@mgsu.ru

Титаренко Борис Петрович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. прикладной математики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; titarenkobp@mgsu.ru

Nikolai I. Shestakov, Boris P. Titarenko

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

COMPARISON OF THE BIOPOSITIVITY OF ROADWEAR COATINGS BY THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES

When choosing an option for the type of pavement coverage, the justification is carried out mainly according to technical and economic indicators, practically not taking into account the negative impact of the materials used on the environment. The article proposes a method for the numerical assessment of the biopositivity indicator in a comparative analysis of the types of road surfaces, using the example of asphalt concrete, crushed stone-mastic and cement concrete surfaces. For the calculation, a method for analyzing hierarchies is proposed, which is based on the principles of decomposition, pairwise comparisons and synthesis of priorities. In the general case, the assessment of biopositivity is a hierarchical procedure that includes operations related to the transformation of the scale and its aggregation. As presented calculations showed, an asphalt concrete pavement has the highest level of biopositivity indicator among other options are considered.

K e y w o r d s: highways, road clothes, biopositivity, biopositivity criteria, hierarchy analysis method.

For citation:

Shestakov N. I., Titarenko B. P. [Comparison of the biopositivity of roadwear coatings by the method of analysis of hierarchies]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 25—34.

About authors:

Nikolai I. Shestakov — Candidate of Engineering Sciences, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU). 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SHestakovNI@mgsu.ru

Boris P. Titarenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU). 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; titarenkobp@mgsu.ru

УДК 620.191.33:666.974.2

Р. А. Бурханова, Н. Ю. Евстафьева, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко

Волгоградский государственный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ЕЕ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

В статье рассмотрена наполненная двухкомпонентная полимерная система холодного отверждения (НДПС). Описаны этапы формирования структуры цементной композиции при ее модификации различными полимерными добавками. Оценена их эффективность и стоимость. При введении НДПС в бетонную смесь совместно с цементом и заполнителем ее удобоукладываемость не изменялась в значительной степени, также не оказывалось влияния на гидратацию и структурообразование минерального вяжущего. Для облегчения гомогенизации смеси полимерная добавка обрабатывалась ПАВ для придания частицам гидрофильности. В данном исследовании использовался модификатор КОЖ136-41. После затвердевания минерального вяжущего бетон не нагревался для расплавления полимерного продукта, так как температура перехода полимерного компонента в вязкотекучее состояние с последующей полимеризацией соответствовала температуре первой стадии гидратации цемента.Представлены модели каждой фазы структурообразования. Затвердевшее цементное тесто имело агломерированную структуру из гидратов силиката кальция и гидроксида кальция, связанных вместе слабыми силами Ван-дер-Ваальса, что приводит к образованию микротрещин. Однако в модифицированных НДПС растворах и бетоне микротрещины перекрывались полимерными пленками, которые препятствовали их распространению, одновременно развивая сильное сцепление продуктов гидратации цемента с заполнителем.

К л ю ч е в ы е с л о в а: наполненная двухкомпонентная полимерная система (НДПС), модифицированный бетон, структурообразование, фаза, цементная композиция.

Модификацией бетона добавками полимеров достигается сочетание лучших качеств каждого компонента композиции при сведении к минимуму их отрицательных свойств [1—7]. Обработка поверхности затвердевшего бетона полимерной композицией наполненной двухкомпонентной полимерной системы (НДПС) показала положительный эффект в части повышения коррозионной стойкости бетона и роста его прочностных характеристик. Введение в состав бетонной смеси помимо основного минерального вяжущего (цемента) полимерного компонента позволяет изменять свойства бетонных составов как бы изнутри. В результате получается новое минерально-полимерное вяжущее, существенно изменяющее свойства готового материала [8—16]. Например, при введении полимера в количестве от 10—15 % массы минерального вяжущего в смесь можно придать раствору или бетону высокую водонепроницаемость, стойкость к износу, низкую электропроводность, сильно повысить его адгезию к другим материалам. Такой прием в модификации бетонов и растворов в зависимости от физического состояния вводимого полимерного вяжущего может осуществляться на основе водных растворов мономеров, олигомеров или полимеров, на основе водных дисперсий полимеров или олигомеров, на основе вязкожидких водонерастворимых олигомеров, на основе порошкообразных полимеров или олигомеров. Получаемые полимер-цементные составы составляют большую группу материалов, образующихся на основе двух вяжущих веществ: минерального и полимерного. В качестве

минерального вяжущего могут быть использованы гипсовые, магнезиальные и гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, наиболее часто используются различные виды цемента. В качестве полимерного компонента в полимерцементных материалах используют термопластичные полимеры (поливинилацетат, акриловые полимеры и др.) и каучуки, олигомерные термореактивные смолы (эпоксидные, карбамидные) и мономерные продукты (например, фурфуролацетоновый мономер). Из олигомерных термореактивных смол применяют твердые эпоксидные смолы, используемые вместе с порошкообразными водонерастворимыми отвердителями, твердыми резольными фенолформальдегидными смолами и др. Из термопластичных полимеров используют порошкообразные (получаемые эмульсионной полимеризацией) — полистирол, поливинилхлорид и др. Находят применение порошкообразный пек (твердый остаток от перегонки дегтя) и парафины.

Расход полимеров в полимерцементных материалах составляет 2—20 % от массы минерального вяжущего. Полимерный модификатор вводится непосредственно в бетонную смесь, и их твердение происходит совместно. Соотношение (по массе) полимерного компонента и минерального вяжущего (полимерцементное отношение — П/Ц) служит основной характеристикой состава полимерцементных материалов. При значении П/Ц до 0,2—0,25 гидратные фазы образуют кристаллизационнокоагуляционную структуру, которая укрепляется в дефектных местах (поры, трещины) полимерной составляющей, что обусловливает формирование более прочной и эластичной структуры. При большем П/Ц образуется непрерывная полимерная сетка. Переход от дискретной к непрерывной полимерной структуре зависит от величины полимерцементных частиц в водной дисперсии. С уменьшением размера частиц снижается переходное значение П/Ц. Так, для частиц синтетического латекса размером около 0,8 мкм оптимальное П/Ц составляет 0,14—0,16. Для поливинилацетатной дисперсии (2—5 мкм) оно изменяется в пределах 0,18—0,22. С повышением дисперсности частиц латекса увеличивается прочность композиции.

В присутствии полимерных добавок изменяется кинетика гидратации клинкерных минералов, причем с ростом П/Ц наблюдается снижение скорости взаимодействия частиц с водой.

Процесс гидратации C_3S в водных растворах большинства органических добавок (пропиловый спирт, пропиламин, пропилен, аланин) замедляется, особенно на начальных стадиях твердения. После 20—30 сут взаимодействия степень гидратации алита одинакова в контрольных и модифицированных системах. При этом фазовый состав цементного камня представлен волокнистыми гидросиликатами и гидроксидом кальция. Малорастворимые добавки практически не влияют на процесс гидратации.

На гидратацию C_2S органические добавки практически не оказывают влияния, поскольку этот минерал в начальные сроки характеризуется низкой активностью, а в поздние сроки воздействие полимерной составляющей снижается.

Наибольшее влияние органические компоненты оказывают на взаимодействие C_3A с водой, причем изменяется не только скорость процесса, но и фазовый состав цементного камня. Пластическая прочность образцов в присутствии органических компонентов повышается в 2—5 раз медленнее, чем у исходного цемента, основность гидроалюминатов кальция увеличивается при

росте концентрации трехкальциевого алюмината и уменьшении содержания гексагональной фазы. Замедление гидратации трехкальциевого алюмината является основной причиной медленного схватывания полимерцементных композиций. Введение малорастворимых добавок ускоряет гидратацию за счет деструкции гидросульфоалюминатной оболочки, образующейся на исходных частицах минерала.

Жидкая фаза, образующаяся при гидратации минералов, может оказывать влияние на свойства органического компонента. Высокая концентрация ионов Ca^{2+} , а также ионов Na^{+} и K^{+} в щелочной среде ускоряет гидролиз некоторых видов полимеров, что снижает эффективность их влияния.

В полимерцементных композициях [17—21] не наблюдается взаимодействия между органической и неорганической фазами с образованием ковалентных мостиковых связей типа Me — O (где Me — Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}), что обеспечило бы высокую прочность контакта составляющих. Органические соединения взаимодействуют с гидратными фазами только за счет ионных, водородных и ван-дер-ваальсовых связей.

Составляющие полимерцементной композиции существенно различаются по своим свойствам. Если неорганическая часть характеризуется высокой прочностью при сжатии (40—60 МПа) и низкой при изгибе и растяжении, а также низкими показателями износостойкости и коррозионной стойкости, то полимерный компонент компенсирует указанные отрицательные характеристики вяжущего.

Процесс формирования структуры полимерцементного камня протекает в несколько этапов. При этом для полимерных дисперсий гидратация цементных частиц предшествует образованию полимерной пленки. В начальный период структурообразования игольчатые кристаллы эттрингитовой фазы пронизывают полимерные частицы. В результате гидратации C3A и C3S часть воды связывается в гидроалюминаты и гидросиликаты кальция; кроме того, происходит частичное ее испарение. Повышение концентрации дисперсии приводит к коагуляции полимерной фазы и образованию мембран между гидратированными и исходными частицами цемента и заполнителя. В последующий период происходит взаимное прорастание неорганической и полимерной фаз. Полимерная составляющая заполняет поровое пространство и возникающие дефектные места, уплотняя и соединяя дополнительно элементы структуры цементного камня. Прочность полимерцементной структуры значительно превосходит аддитивные значения, полученные сложением показателей прочности цементного камня и полимера.

Водорастворимые полимеры, вводимые при приготовлении растворов и бетонов в небольших количествах (до 3 %) в виде порошков или водных растворов, оказывают главным образом пластифицирующий эффект. Наиболее эффективно использовать термореактивные полимеры (олигомерные смолы), которые в сформировавшейся цементной матрице переходят в нерастворимое состояние. В этом случае происходит изменение поровой структуры цементного камня: уменьшается размер пор, часть их становятся замкнутыми при образовании полимерных мембран, поверхность открытых пор покрывается полимерной пленкой, приобретая гидрофобные свойства. Образующийся композиционный материал характеризуется повышенными значениями морозостойкости, коррозионной стойкости и водонепроницаемости.

Существенное влияние небольших количеств полимерного связующего на свойства материала объясняется структурными особенностями полимерцементных материалов, заключающимися в характерном расположении полимера в матрице минерального вяжущего. Упругие прослойки полимерного связующего между кристаллическими новообразованиями минерального вяжущего адсорбируются на поверхности частиц заполнителя и благодаря высоким адгезионным свойствам способствуют росту прочности и деформативности материала при растяжении и изгибе. При этом часть полимера закрывает поры, снижая водопоглощение материала, повышая его морозостойкость и водонепроницаемость. Высокая адгезия полимерцементных смесей к другим материалам (например, поверхность старого раствора) объясняется присутствием в материале полимерного связующего, которое концентрируется на поверхности раздела «старый материал — полимерцементная смесь». Прочность при сжатии полимерцементных материалов незначительно отличается от прочности на чистом цементном вяжущем, а вот прочность при растяжении и изгибе выше в 1,5—2 раза, что может значительно расширить область использования нового модифицированного материала. Применение же высокопрочных термореактивных полимеров в качестве модификаторов бетонных смесей поможет получить материалы с повышенными прочностными характеристиками и специальными свойствами.

Важно отметить, что стоимость полимерцементной композиции значительно возрастает (в 10—100 раз) уже при П/Ц от 0,02 до 0,2 относительно минеральных вяжущих. Например, латексцементный раствор на латексе СКС-65 с П/Ц = 0,12 дороже обычного раствора в 1,5—2 раза. Стоимость полимерцементных материалов на термореактивных водонерастворимых олигомерах еще выше: эпоксидно-цементные растворы с П/Ц = 0,10—0,15 дороже обычных цементно-песчаных растворов в 10 раз и более. Поэтому оценка возможности модификации бетонных смесей НДПС на основе отходов промышленных предприятий региона актуальна с экономической и экологической точек зрения.

Так как НДПС представляет собой тонкодисперсный порошковый материал, основываемся на теоретических предпосылках формирования структуры полимерцементной композиции водонерастворимыми олигомерными продуктами, которые вводятся как обычный тонкодисперсный наполнитель в бетонную смесь. Полимерный продукт (НДПС) нерастворим в воде и вводится в бетонную смесь совместно с цементом и заполнителем, не изменяя в заметной степени ее удобоукладываемость и не оказывая влияния на гидратацию и структурообразование минерального вяжущего. Порошкообразная НДПС является гидрофобным веществом, ее частицы плохо смачиваются водой. Поэтому для облегчения гомогенизации смеси целесообразно обрабатывать полимерную добавку ПАВ для придания частицам гидрофильности. В нашем исследовании использовался модификатор КОЖ136-41.

Важно отметить, что и гидратация цемента, и образование полимерной фазы при соединении полимерных частиц при полимеризации мономеров происходят достаточно хорошо независимо от физического состояния модификатора. Монолитная матричная фаза с решетчатой структурой при этом деформируется, а гидратированная цементная фаза и полимерная фаза взаимопроникают друг в друга.

В полимерцементных структурах растворов и бетонов заполнители связаны такой особой соматричной фазой, что обусловливает выдающиеся свойства модифицированных растворов и бетонов. Основываясь на принципах латексной модификации растворов и бетонов, нужно отметить, что регулируется она как гидратацией цемента, так и процессами образования полимерной пленки в связывающей их фазе. Процесс гидратации цемента предшествует процессу образования полимерной пленки [17, 22, 23]. Соматричная фаза, которая состоит из цементного геля и полимерной пленки, образуется как связующее в соответствии с трехступенчатой упрощенной моделью, показанной на рис. 1—5 [17, 24].

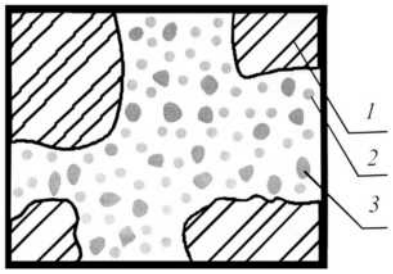


Рис. 1. Модель образования структуры полимерцементной композиции после смешивания: *1* — заполнитель; *2* — негидратированные цементные частицы; *3* — частицы полимера НДПС

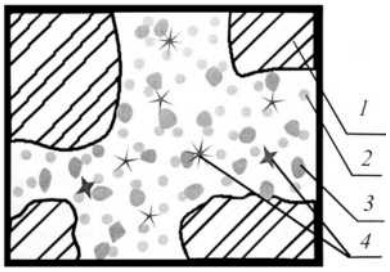


Рис. 2. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Первая фаза структурообразования: *1* — заполнитель; *2* — негидратированные цементные частицы; *3* — частицы полимера НДПС; *4* — гидраты цемента

При введении ненаполненой НДПС в цементные смеси бетонной композиции полимерные частицы диспергируются в фазе цементного теста при затворении водой (см. рис. 1). В таком полимерцементном тесте цементный гель постепенно образуется при гидратации цемента (см. рис. 2). Уже через несколько минут температура цементного теста поднимается до 84 °С в результате образования C_3A, выделяется большое количество пара. На этом этапе происходит кристаллизация первичных наиболее крупных кубических кристаллов правильной и удлиненной формы (см. рис. 3). Большое количество тепла и пара в начальный период способствует разрыхлению структуры, создает предпосылки для роста кристаллов в свободном пространстве [18]. В то же время частицы полимера постепенно оседают на поверхности смеси цементного геля и непрореагировавших частиц цемента (см. рис. 3).

При использовании НДПС в качестве полимерной добавки после затвердевания минерального вяжущего нет необходимости нагревания бетона для расплавления полимерного продукта, так как температура перехода полимерного компонента в вязкотекучее состояние с последующей полимеризацией наступает в интервале температур 80—90 °С, что соответствует температуре первой стадии гидратации цемента.

Структура цементного геля продолжает развиваться, частицы полимера НДПС постепенно сосредоточиваются в капиллярных порах. Поскольку гидратация цемента продолжается и количество капиллярной воды уменьшается, полимерные частицы коагулируют с образованием постоянного уплотненно-

го слоя полимерных частиц на поверхности смесей цементного геля с непрореагировавшими частицами цемента (см. рис. 4). При этом они сцепляются с этими смесями и силикатным слоем над поверхностью заполнителей. В этом случае большие поры в бетонных смесях за счет адгезии заполняются полимерными частицами [17, 25]. Это можно объяснить размером пор в твердеющем цементе, находящимися в диапазоне от нескольких ангстрем до 1 мкм, в то время как размер полимерных частиц в типичном латексе составляет от 0,05 до 0,5 мкм [11, 26].

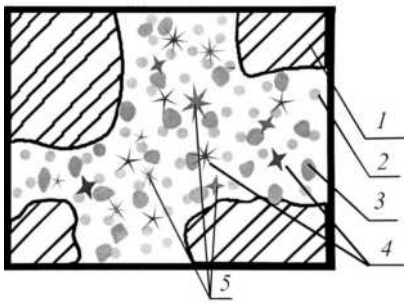


Рис. 3. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Вторая фаза структурообразования: *1* — заполнитель; *2* — негидратированные цементные частицы; *3* — частицы полимера НДПС; *4* — гидраты цемента; *5* — полимерные пленки и мембраны

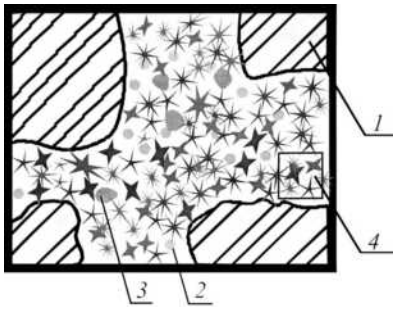


Рис. 4. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Затвердевшая соматричная структура: *1* — заполнитель; *2* — негидратированные цементные частицы; *3* — частицы полимера НДПС; *4* — соматричная фаза

На заключительном этапе частицы уплотненного полимера НДПС на продуктах гидратации цемента связываются в непрерывные пленки или мембраны (см. рис. 4). При этом образуется монолитная решетка, в которой полимерная фаза проникает через фазу указанных продуктов гидратации (см. рис. 4). Такая структура действует в качестве матричной фазы для модифицированных мономерами растворов и бетонов, а заполнители связываются с матричной фазой в затвердевшем растворе и бетоне.

Считается признанным, что затвердевшее цементное тесто имеет в основном агломерированную структуру из гидратов силиката кальция и гидроксида кальция, связанных вместе слабыми силами Ван-дер-Ваальса, вследствие чего при напряжении в таком тесте легко образуются микротрещины. Это приводит к низкой прочности при растяжении и низкой ударной вязкости при изломе обычных цементных растворов и бетонов.

В модифицированных же НДПС растворах и бетоне микротрещины перекрываются полимерными пленками или мембранами, которые препятствуют распространению трещин, причем одновременно развивается сильное сцепление продуктов гидратации цемента с заполнителем.

Это отчетливо видно на микрофотографиях полимерцементной композиции, модифицированной НДПС (рис. 6) [2, 8, 14, 27].

Данный эффект возрастает с увеличением содержания полимера и приводит к повышению прочности на разрыв и ударной вязкости при изломе (рис. 7). Однако при избыточном содержании полимера и при воздухововле-

чении в монолитной решетчатой структуре возникают разрывы, и ее прочность может снижаться, что устраняется введением в НДПС наполнителей в виде абразивных частиц и углеродных дискретных волокон.

Изолирующий эффект, возникший благодаря образованию полимерных пленок или мембран в структуре (рис. 8), также приводит к значительному увеличению водонепроницаемости и плотности, повышаются также сопротивление внутреннему передвижению жидкости, химическая стойкость и морозостойкость при замораживании и оттаивании. Этот эффект усиливается при введении наполненной системы НДПС в составы бетонных композиций.

Образующийся цементный гель как продукт гидратации портландцемента имеет высокую удельную поверхность, включая так называемые гелевые поры в структуре (см. рис. 5). Такая удельная поверхность может быть в 1000 раз больше, чем площадь негидратированного цементного порошка. Соответственно, дополнительное развитие площади поверхности может быть использовано в качестве измерителя степени гидратации [5, 15, 22, 27]. При этом степень гидратации цемента может быть ускорена путем введения наполненной системы НДПС на начальной стадии формирования структуры, тем более что полимерная модификация не влияет окончательно на гидратацию цемента.

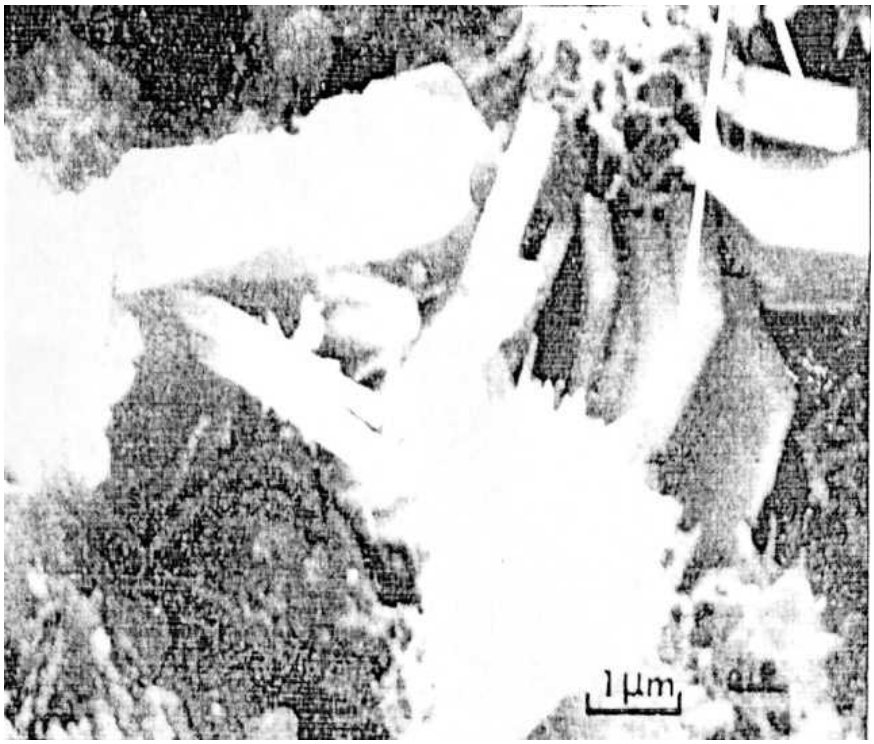


Рис. 5. Стереомикрофотография продуктов гидратации цемента

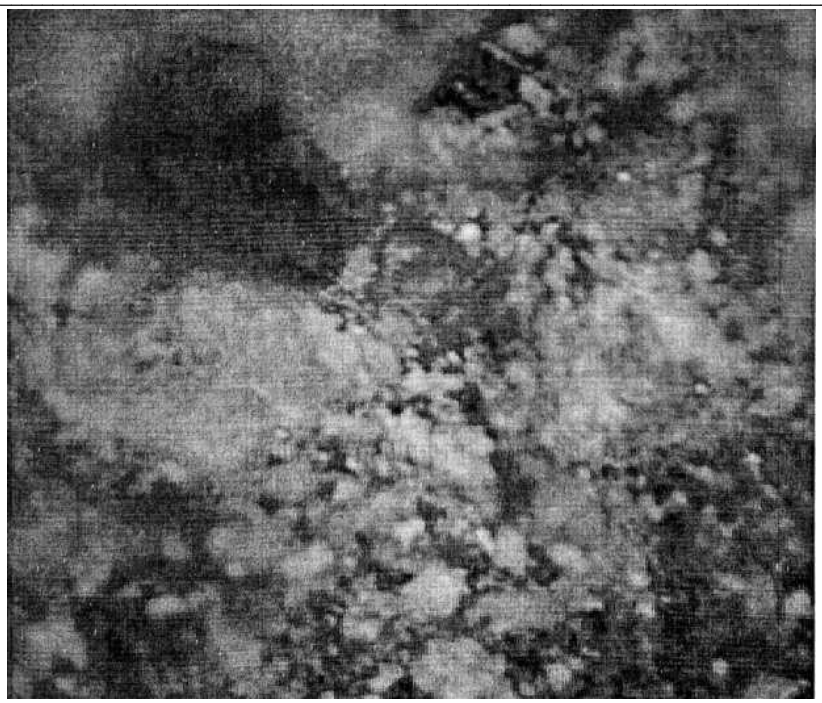


Рис. 6. Микрофотография структуры полимерцементной композиции, модифицированной НДПС

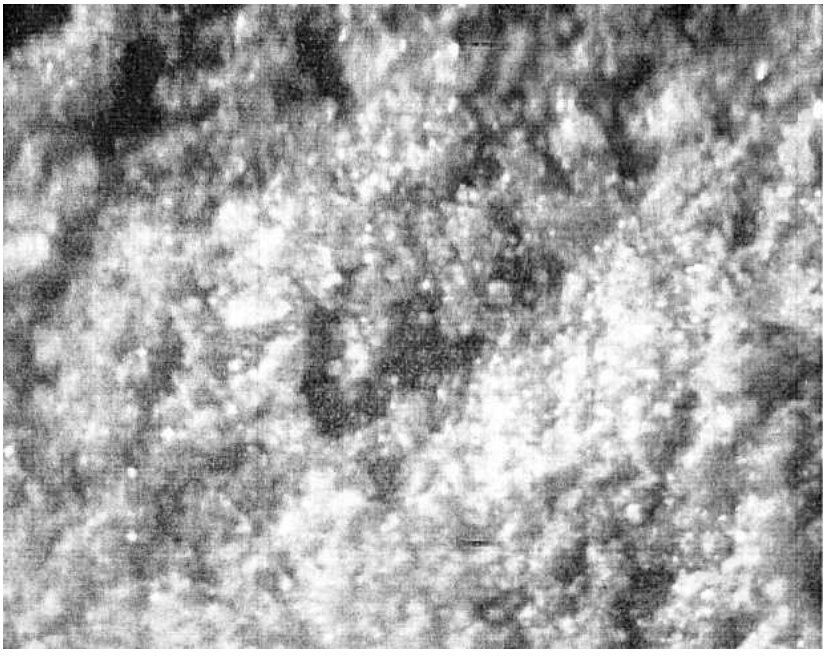


Рис. 7. Микроскопическое изображение скола полимерцементной композиции, модифицированной наполненной НДПС

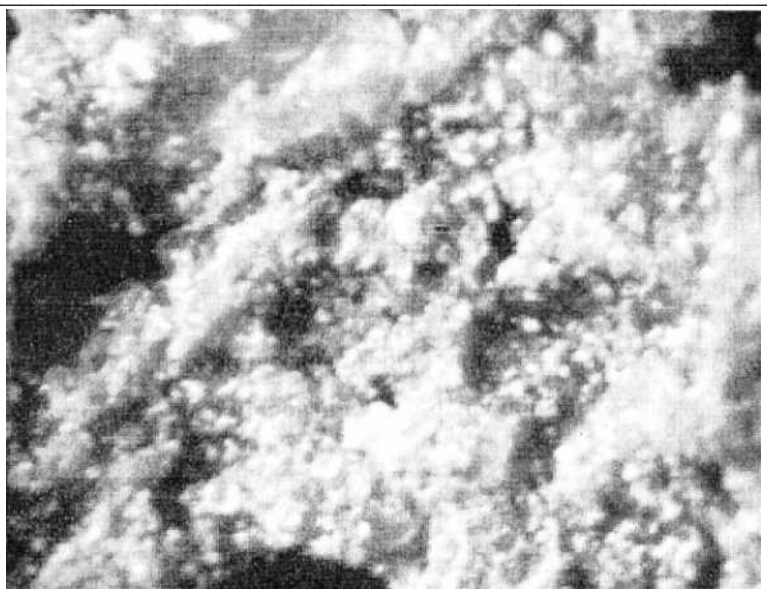


Рис. 8. Микрофотография структуры полимерцементной композиции, модифицированной наполненной НДПС

Таким образом, на структуру пор в модифицированных НДПС композиционных системах оказывает влияние полимерцементное отношение. Пористость модифицированных растворов [13, 18, 24, 27] в основном снижается при большом радиусе пор — от 0,2 мкм и больше — и значительно увеличивается при меньшем радиусе — 0,0750 мкм или меньше — по сравнению с немодифицированным раствором. Общая пористость имеет тенденцию к увеличению с увеличением полимерцементного отношения. Это позволяет регулировать непроницаемость и морозостойкость композиций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Струлев С. А., Ярцев В. П.* Полимербетон на основе эпоксидной и полиэфирной смол с использованием асбофрикционных отходов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. Вып. 3. С. 109—111.

2. *Соловьева В. Я.* Проектирование высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками // Бетон и железобетон. 2007. Вып. 3. С. 16—18.

3. *Havlikova I.* Modified Cement-Based Mortars: Crack Initiation and Volume Changes // Materiali in Tehnologije. 2015. Vol. 49. Iss. 4. Pp. 557—561.

4. *Чистов Ю. Д., Краснов М. В.* Наномодификаторы в неавтоклавном ячеистом бетоне // Технологии бетонов. 2010. Вып. 7—8. С. 68—71.

5. *Sudarsana Rao H., Somashekaraiah H. M., Ghorpade Vaishali G.* Strength and workability characteristics of fly ash based glass fibre reinforced high-performance concrete // International Journal of Engineering Science and Technology. 2011. Vol. 3. Iss. 8. Pp. 6266—6277.

6. *Дубницкий В. Ю., Чернявский В. Л.* Оценка коррозионного состояния бетона при сложных агрессивных воздействиях // Известия вузов. Стр-во и архитектура. 1988. Вып. 10. С. 20—22.

7. *Рыбьев И. А., Жданова Н. И.* Проектирование состава бетона оптимальной структуры с использованием компьютерной программы EXCEL // Известия вузов. Стр-во и архитектура. 2000. Вып. 12. С. 33—37.

8. *Дворкин Л. И., Год В. И., Дворкин О. Л.* Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М. : Инфра-Инженерия, 2008. 432 с.

9. Исследования в области защиты бетона и железобетона от коррозии в агрессивных средах: сб. тр. НИИЖБ. М.: Стройиздат, 2008. 72 с.

10. *Тринкер А. Б.* Управление структурой и свойствами бетона // Технологии бетонов. 2012. Вып. 11—12. С. 34—38.

11. *Соломатов В. И., Селяев В. П.* Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. М.: Стройиздат, 2002. 312 с.

12. *Уоррен К.* Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2013. 224 с.

13. *Чистов Ю. Д., Краснов М. В.* Наномодификаторы в неавтоклавном ячеистом бетоне // Технологии бетонов. 2010. Вып. 7—8. С. 68—71.

14. *Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Stefanenko I. V.* Modified heat-resistant concrete using slag aggregates // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. 9 p. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022015/pdf.

15. *Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К.* Наполнение эпоксидных полимеров как фактор получения многокомпонентной композиции с улучшенными прочностными свойствами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 151—161.

16. *Gadzhiev A. M., Kurbanov R. M., Khadzhishalapov G. N.* The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic // Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017. Vol. 44. Iss. 3. Pp. 146—155.

17. *Оудиан Дж.* Основы химии полимеров / под ред. З. Г. Роговина. М.: Химия, 2006. 326 с.

18. *Зубов П. И., Сухорева Л. А.* Структура и свойства полимерных покрытий. М.: Химия, 2009. 25 с.

19. *Ngog Thanh Tran*. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 101. Iss. 1. Pp. 80—90.

20. *Соломатов В. И., Федорцов А. П.* Позитивный эффект коррозии полимербетонов // Бетон и железобетон. 1981. Вып. 2. С. 20—25.

21. *Shi X. S., Collins E. G., Zhao X. L*. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymeric recycled concrete // Journal of Hazardous Materials. 2012. Vol. 237. Pp. 20—29.

22. *Mohammeda M. K., Al-Hadithi A. I., Mohammed M. H.* Production and optimization of eco-efficient self compacting concrete SCC with limestone and PET // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 197. Pp. 734—746.

23. *Foreman Matthew R., Vollmer F.* Optical Tracking of Anomalous Diffusion Kinetics in Polymer Microspheres // Physical Review Letters. 2015. Vol. 114. Iss. 11. Pp. 257—266.

24. *Sun Hongfang, Zishanshan Li, Shazim Ali Memon*. Influence of ultrafine 2CaO center dot SiO_2 powder on hydration properties of reactive powder concrete // Materials. 2015. Vol. 8. Iss. 9. Pp. 6195—6207.

25. *Al-Hadithi A. I., Hilal N. N.* The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 8. Pp. 20—28.

26. *Balakrishna M. N., Mohamad F., Evans R.* Durability of concrete with differential concrete mix design // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2020. Vol. 7. Iss. 4. Pp. 696—701.

27. *Лосев И. П., Тростянская Е. Б.* Химия синтетических полимеров. М.: Химия, 2008. 615 с.

© Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Теоретические предпосылки формирования структуры цементной композиции при ее модификации полимерными добавками / Р. А. Бурханова, Н. Ю. Евстафьева, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 35—45.

Об авторах:

Бурханова Рената Анверовна — канд. техн. наук, доц. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; renata_vlg@mail.ru

Евстафьева Наталья Юрьевна — инженер лаборатории № 1 каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; n16121976@yandex.ru

Акчурин Талгать Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., зав. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Renata A. Burkhanova, Natal'ya Yu. Evstaf'eva, Talgat K. Akchurin, Igor' V. Stefanenko

Volgograd State Technical University

THEORETICAL PRECONDITIONS FOR FORMATION OF THE CEMENT COMPOSITION STRUCTURE DURING ITS MODIFICATION WITH POLYMER ADDITIVES

The article deals with a filled two-component cold curing polymer system (FTPS). The stages of formation of the structure of the cement composition during its modification with various polymer additives are described. Their effectiveness and cost are assessed. When FTPS was introduced into the concrete mixture together with cement and aggregate, its workability did not change to a significant extent, and there was no effect on the hydration and structure formation of the mineral binder. To facilitate the homogenization of the mixture, the polymer additive was treated with a surfactant to render the particles hydrophilic. In this study, the KOZh136-41 modifier was used. After the mineral binder hardened, the concrete was not heated to melt the polymer product, since the transition temperature of the polymer component to the viscous-flow state followed by polymerization corresponded to the temperature of the first stage of cement hydration. The article presents models of each phase of structure formation. The hardened cement paste had an agglomerated structure of calcium silicate hydrates and calcium hydroxide bound together by weak Van der Waals forces, resulting in microcracking. However, in the mortars and concrete modified with FTPS, microcracks were covered with polymer films, which prevented their propagation, while at the same time developing strong adhesion of the cement hydration products with the aggregate.

K e y w o r d s: two-component polymer system (FTPS), modified concrete, structure formation, phase, cement composition.

For citation:

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. [Theoretical preconditions for formation of the cement composition structure during its modification with polymer additives]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 35—45.

About authors:

Renata A. Burkhanova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; renata_vlg@mail.ru

Natal'ya Yu. Evstaf'eva — Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n16121976@yandex.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, RAASN advisor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Igor' V. Stefanenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

УДК 628.34

Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Геращенко, В. С. Телятникова, А. Ю. Гильгенберг, Д. В. Котломина

Волгоградский государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Рассмотрены проблемы, касающиеся выбора методов очистки сточных вод, имеющих в своем составе значительный диапазон загрязняющих компонентов: взвешенные примеси, растворенные неорганические и органические вещества, а также различные микроорганизмы. Авторами на примере реальных сточных вод одного из предприятий пищевой промышленности были проведены исследования, доказывающие перспективность применения физико-химических методов очистки сточных вод, в частности электрохимической обработки, с целью достижения различных нормативных требований по предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ. Представлены результаты по определению рациональных параметров проведения электрообработки сточных вод (выбор материала электродов, плотности тока, времени обработки, температуры, pH среды, количества реагента). Приведены обобщающие результаты, демонстрирующие эффективность изменения исходных концентраций загрязняющих веществ в сточных водах в результате осуществления электрохимической обработки с учетом подобранных параметров.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сточные воды, очистка, предприятие пищевой промышленности, электрохимическая очистка, технологические параметры очистки.

В зависимости от вида загрязнений, имеющихся в сточных водах (СВ), выбирают методы их очистки. Если стоки имеют значительный диапазон загрязняющих вредных компонентов: взвешенные примеси, растворенные неорганические и органические вещества, а также различные микроорганизмы, то технологическую схему последовательного удаления загрязнений из воды необходимо подбирать, исходя из использования наиболее эффективных, конструктивно доступных и экономически целесообразных способов (методов) очистки СВ [1, 2].

В качестве примера в статье будут рассмотрены СВ пищевой индустрии, которые имеют менее сложный состав, чем городские стоки, поэтому у предприятий нет необходимости в строительстве громоздких очистных сооружений. Однако нет и оптимальной схемы очистки, которая позволила бы при минимальных затратах добиться необходимого эффекта на всех предприятиях обозначенной отрасли.

Типовые проекты не всегда оправданны, например, уже потому, что хорошо функционирующие очистные сооружения на предприятиях пищевой промышленности (ППП) средней мощности могут оказаться громоздкими и не экономичными на малых предприятиях. Актуальной задачей является выбор схемы очистки СВ предприятия, которая должна при минимальных затратах обеспечить необходимую степень удаления основных загрязнителей из сточной жидкости до ПДК согласно действующим нормативам.

Возросла актуальность применения физико-химических методов очистки СВ для обозначенной отрасли, поскольку их использование и возможность

достижения различных нормативных требований ПДК загрязняющих веществ соответствуют основным принципами защиты водоемов от негативного воздействия [3, 4], а именно:

1) создание систем водного хозяйства промышленных предприятий без сброса или с минимальным сбросом СВ в водоемы;

2) максимальное извлечение из СВ полезных продуктов с целью их утилизации или повторного использования.

Более того, физико-химические методы играют значительную роль при очистке производственных СВ и применимы и как самостоятельные, и в сочетании с механическими, химическими и биологическими способами. Следует отметить, что физико-химические методы достаточно универсальны, технологически и экономически апробированы, способны обеспечить устойчивую работу сооружений при низкой температуре жидкости, а также pH при поступлении токсичных веществ [4—6].

Ярким примером является использование электрохимического метода, с помощью которого можно очищать воду от различного рода загрязнителей органического и неорганического происхождения. Специалисты считают его довольно перспективным, наиболее экологически щадящим и эффективным. Суть электрохимического метода очистки состоит в том, что вода проходит через емкость специальной конструкции, в которой под действием постоянного электрического тока происходят сложные окислительно-восстановительные реакции. При этом разрушаются органические вещества, могут уничтожаться вирусы, бактерии и микроорганизмы. Электрохимический метод очистки не только обеспечивает обеззараживание воды, при этом эффективно удаляются или инактивируются токсичные элементы и их соединения.

Из электрохимических способов наиболее распространенными признаны методы электрохимической коагуляции (электрокоагуляции), электрохимической флотации (электрофлотации) и электрохимическое окисление. Эффект очистки стоков составляет по: взвешенным веществам — 90—95 %, поверхностно-активным веществам — 60—70 %, жирам — 75—95 %, нефтепродуктам — до 95 %, хрому — 90—98 % [5—8].

В настоящей статье представлен экспериментальный материал по исследованию процессов электрохимической очистки СВ одного из ППП.

Для изучения процессов электрохимической очистки использовались реальные СВ одного из ППП, прошедшие предварительно этап механической очистки, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав СВ реальных ППП для изучения кинетики процесса электроокисления органических и неорганических соединений

Загрязняющий компонент	Концентрация, мг/дм^3	Загрязняющий компонент	Концентрация, мг/дм^3
Взвешенные вещества	85	Нефтепродукты	0,6
$БПК_{полн}$	685	АПАВ	11,8
ХПК	890	Фосфаты	0,56
$Железо_{общ}$	0,2	Хлориды	59
Жиры	4	Сульфаты	75
Ионы аммония	32,5	pH	6,7

Сущность метода электрохимического окисления СВ заключается в обработке некондиционной жидкости постоянным электрическим током в аппарате с нерастворимыми в условиях анодной поляризации электродами. Для успешного осуществления электрообработки необходим соответствующий подбор материала анода и определенных режимных параметров обработки: плотности тока, времени обработки стоков, а также температуры, pH среды и концентрации раствора поваренной соли [7—10].

Поэтому на первом этапе исследований авторами была изучена кинетика реакций, протекающих в приэлектродных пространствах. Полученные результаты показали, что в прианодном пространстве протекает деструкция органических веществ, которые обусловливают значения $БПК_{полн}$ и ХПК рассматриваемых СВ, и лишь незначительная их часть полимеризуется на катоде.

В прикатодном пространстве в основном протекают реакции электровосстановления органических веществ в водных средах, связанные с механизмом выделения водорода на электроде, что говорит о различных по своей природе восстанавливающих агентах: электронах, ионах или атомах водорода. Часто в электрохимической реакции на катоде участвуют непосредственно молекулы органического вещества, превращаясь в органические анионы:

$$R + e^- \rightarrow R–$$

При этом последующей стадией процесса является нейтрализация аниона с образованием продукта гидрирования:

$$R^- + H^+ \rightarrow RH$$

Возможно также одновременное участие в разряде иона водорода и молекулы органического вещества:

$$R + H^+ + e^- \rightarrow RH$$

При высоком потенциале катода могут образовываться в качестве промежуточных продуктов реакции свободные радикалы, способствующие высокой реакционной активности органических соединений [11].

На ход процесса восстановления влияет характер заместителя (электроотрицательные и электроположительные группы) и его положение в восстанавливаемой молекуле, материал катода, условия электролиза и, особенно, состав раствора [11—13].

Органические соединения электролитически восстанавливаются на металлах с высоким перенапряжением (Hg, Pb, Cd и др.) [12—14], что требует большого расхода электроэнергии и значительно увеличивает себестоимость очистки единицы объема сточной жидкости. Хотя катодные процессы восстановления, протекающие в электролизерах, сопряжены с анодными процессами окисления, они вносят несущественный вклад в общий процесс очистки СВ от органических соединений.

Поскольку электрохимическое обезвреживание СВ целесообразнее осуществлять окислением органических соединений на аноде, особое внимание, как уже отмечено, следует уделять выбору анодного материала. Одной из главных проблем является то, что большинство металлов термодинамически неустойчивы в условиях анодной поляризации (происходит их растворение или пассивация) [15, 16].

Основным фактором, обусловливающим пригодность того или иного материала в качестве анодов, является достаточная механическая прочность, технологичность изготовления и химическая устойчивость к агрессивным средам [11, 14, 17]. Одним из основных показателей, характеризующих электрохимическую активность электродного материала, является перенапряжение η, т. е. отклонение фактического потенциала электрода от равновесного потенциала протекающей на нем реакции [18]. Чем меньше перенапряжение реакции на данном электроде, тем при более низком потенциале электрода и, следовательно, при меньших затратах электроэнергии осуществима эта реакция. Выделение, например, водорода, кислорода, хлора на различных электродах происходит при разных потенциалах, и при выборе материала электродов для проведения определенной электрохимической реакции необходимо учитывать значение перенапряжения [11, 19].

В частности, в процессах электрохимической очистки высокое перенапряжение выделения водорода на катоде и кислорода на аноде сказывается на увеличении непроизвольно расходуемой энергии [20]. Из этого следует, что в качестве материала электродов наиболее пригодны металлы с низким перенапряжением, например платина. Однако в силу экономических факторов согласно источникам [14, 16, 20] в аппаратах (электролизерах) для проведения электроокисления загрязняющих компонентов СВ применяются нерастворимые металлоксидные аноды ОРТА, ОКТА или ТДМА (титановая основа с активным поверхностным покрытием смесью оксидов титана, рутения, марганца и кобальта), а также электроды из графита.

Для определения величины потенциала окисления органических соединений, загрязняющих СВ ППП, плотности тока и материала анода были получены поляризационные кривые прианодного процесса [11, 20]. При снятии поляризационных кривых использовались электроды, выполненные из титана с активным покрытием на основе оксида кобальта (ОКТА) и диоксида рутения (ОРТА). Кроме того, исходя из соображений повышения экономичности процесса очистки была исследована возможность применения электродов, изготовленных из графита, так как графит является электрохимически активным анодным материалом с высокой электропроводностью. Поляризационные кривые прианодного пространства сняты при помощи потенциостата ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором и двухкоординатным регистрирующим прибором ПДА 1 [20] и представлены на рис. 1.

Проанализировав полученные анодные поляризационные кривые, видим, что наибольшая плотность тока, необходимая для достижения потенциала окисления органических компонентов загрязняющих веществ (1,55—1,59 В) при электроокислении на поверхности анода, составляет 3,7 А/дм^2, наименьшая — 3,1 А/дм^2. При этом процесс электроокисления для обрабатываемой сточной жидкости проходил при наименьших значениях перенапряжения на аноде ОКТА. При использовании графитовых анодов в большинстве случаев наблюдалось самое высокое значение перенапряжения целевых реакций электроокисления, поэтому использование графитовых анодов нецелесообразно для очистки рассматриваемых СВ. Перенапряжение реакций электроокисления органических примесей СВ предприятия табачной индустрии РФ на аноде ОРТА имеет близкое значение к перенапряжению на аноде ОКТА. Однако стоимость титановых анодов ОКТА имеет более высока, чем анодов

ОРТА, поэтому предварительные исследования позволяют говорить о целесообразности использования анодов ОРТА. Для подтверждения сделанного вывода были проведены дальнейшие исследования по выбору рациональных параметров обработки рассматриваемых СВ: материала электродов, плотности тока, времени обработки стоков, а также температуры, pH среды и концентрации раствора поваренной соли.

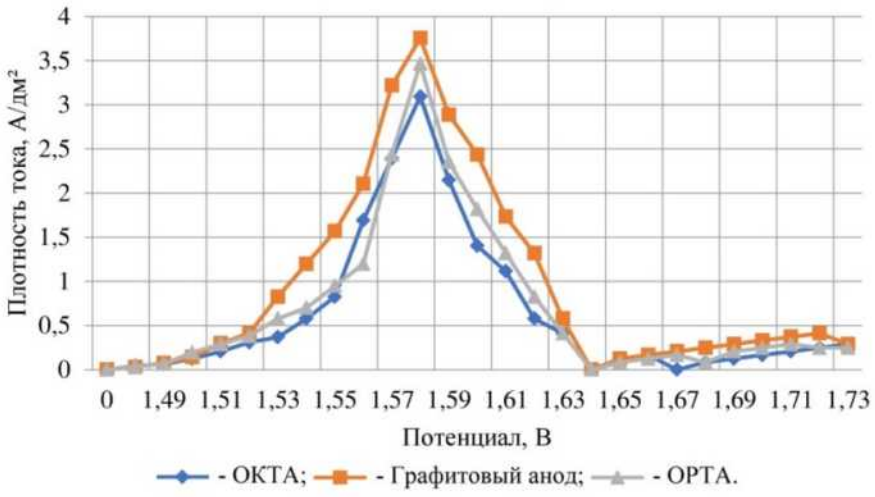


Рис. 1. Зависимость потенциала окисления от плотности тока

Выбор материала электродов

Важным условием эффективного протекания электрохимического процесса по желаемому пути является выбор материала электродов, в частности анода. В данном эксперименте очень существенна химическая устойчивость анода к среде, в которой протекает электролиз.

Как отмечалось выше, к числу показателей, которыми характеризуется электрохимическая активность материалов, применяемых для изготовления анода, относится его перенапряжение η, которое характеризует отклонение фактического потенциала электрода от равновесного потенциала реакции, протекающей на нем. Из этого следует, что чем меньше перенапряжение протекания реакции на данном электроде, тем при меньшем потенциале электрода может быть осуществима эта реакция, а следовательно, расход электроэнергии тоже снижается.

Поэтому при проведении лабораторных исследований в качестве электродов использовались ОКТА, графит и ОРТА. При выборе материала анода исследования проводились на реальных СВ, состав которых представлен в табл. 1, при максимально необходимой плотности тока 3,7 А/дм^2 и времени обработки 20 мин. В результате были получены следующие зависимости эффективности очистки от материала анода (рис. 2).

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы: максимальная степень очистки при наименьшем времени обработки (15 мин) и плотности тока 3,5 А/дм^2 достигается проведением процесса электроокисления на электродах ОКТА. Однако использова-

ние анодов ОКТА в промышленных условиях приводит к значительному удорожанию процесса очистки, поэтому целесообразно применять в качестве анода ОРТА, имеющие значения эффективности очистки, близкие к ОКТА. Применение в качестве материала анода графита не позволяет достигать значений эффективности очистки, близких к титану с активным покрытием на основе диоксида рутения и оксида кобальта. Вследствие этого дальнейшее изучение процесса электрохимического окисления СВ от органических загрязнений производилось с использованием в качестве анода ОРТА.

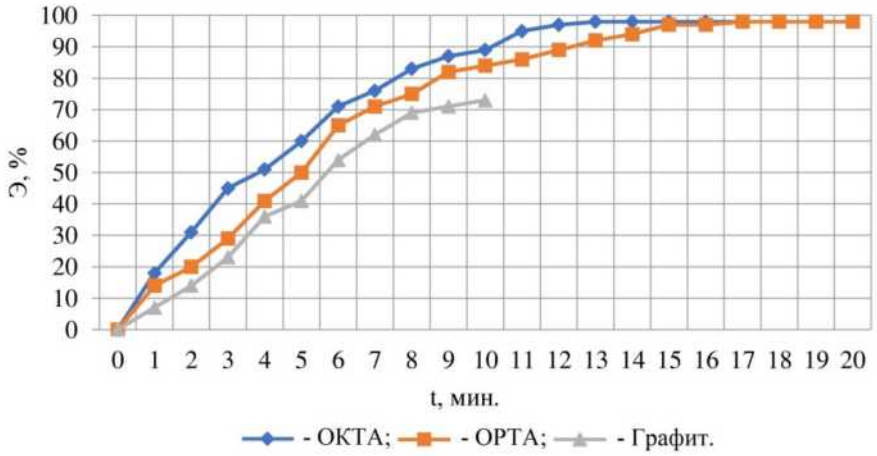


Рис. 2. Зависимость степени очистки СВ ППП от материала анода (плотность тока 3,7 А/дм^2, время обработки 20 мин)

Определение времени обработки сточных вод постоянным электрическим током

Параметрами, обеспечивающими глубокое электроокисление органических примесей при электрохимической обработке СВ, загрязненных органическими веществами, являются продолжительность электролиза и анодная плотность тока [21]. При проведении экспериментов по изучению влияния времени обработки электрическим током на степень очистки обозначенных стоков время варьировалось в пределах от 1 до 20 мин. Повышение времени нецелесообразно, так как по результатам проведенных ранее исследований по выбору материала анода видно, что максимальная степень очистки достигается за время, не превышающее 15 мин. Однако следует учесть то, что обозначенные исследования проводились при максимально необходимой плотности тока (3,7 А/дм^2). Определение времени обработки СВ производилось при варьировании плотности тока от 1 до 4 А/дм^2. В качестве материала анода при проведении исследований применялся ОРТА. Зависимости степени очистки СВ от времени электрообработки представлены на рис. 3.

Таким образом, проведя анализ полученных зависимостей (см. рис. 3), предварительно можно определить, что оптимальная величина времени электрообработки СВ, загрязненных органическими загрязнениями, находится в интервале от 12 до 15 мин. При этом минимальная плотность тока составляет 2,5 А/дм^2.

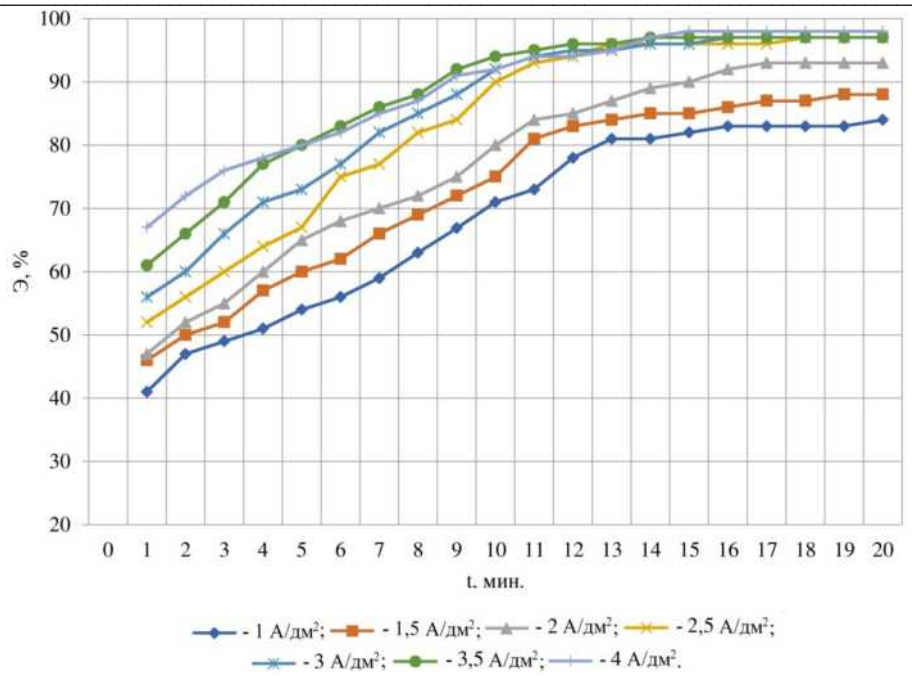


Рис. 3. Зависимость эффективности очистки от времени обработки СВ ППП (анод — ОРТА)

Определение рабочей плотности тока

Как было указано, к основным параметрам, обеспечивающим глубокое электроокисление органических примесей при обработке СВ, относятся анодная плотность тока и продолжительность электролиза [15, 18].

Плотность тока выражает скорость электрохимической реакции, следовательно, скорость этой реакции, подобно скорости химической реакции, показывает число химических превращений на границе «электрод — раствор», приводящих к образованию продуктов реакции на единице поверхности раздела фаз за единицу времени [11].

Плотность тока в процессе проведения исследований рассчитывалась по формуле [4, 7, 22]:

$$i = \frac{Y}{S \cdot (n-1)}, \text{ А/дм}^2 \qquad (1)$$

где Y — сила тока, А; S — площадь электродной пластины, дм^2; n — число пластин.

Величина силы тока варьировалась от 1,5 до 4,0 А/дм^2, время пребывания — 15 мин. Кроме того, исследования проводились при различных значениях pH среды путем корректировки первоначальных значений реальных СВ, состав которых представлен в табл. 1. Результаты опытов приведены на рис. 4.

Как показали результаты проведенных исследований, эффективность очистки СВ от органических веществ прямо пропорциональна плотности тока и времени обработки воды. Максимальная степень очистки достигается при плотности тока, находящейся в интервале от 2,5 до 3,5 А/дм^2.

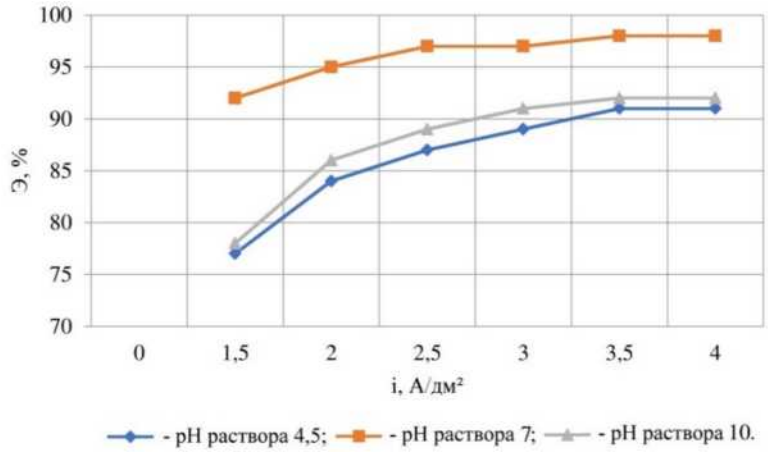


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки СВ ППП от плотности тока (время обработки — 15 мин, анод – ОРТА)

Выбор рабочей температуры процесса

Как известно, с ростом температуры скорость большинства химических реакций увеличивается и может быть приближенно оценена по правилу Вант-Гоффа, т. е. с увеличением температуры на каждые 10 °С скорость реакции возрастает в 2—3 раза. Это объясняется увеличением числа эффективных столкновений реагирующих частиц за счет повышения числа активных молекул, энергия активации которых становится достаточной для их взаимодействия [4, 15].

В электрохимических системах повышение температуры электролита снижает перенапряжение электродных реакций. Температурный коэффициент перенапряжения $(d\eta/dT)i$ выделения водорода и кислорода составляет 2—4 мВ/°С [11]. Повышение температуры от комнатной до 60—80 °С снижает перенапряжение этих процессов на 6—7 %. Исследование влияния температуры процесса на эффективность очистки рассматриваемых СВ (см. табл. 1) проводились при температуре от 0 до 80 °С, плотности тока 3,5 А/дм^2 и времени обработки 15 мин (рис. 5, 6).

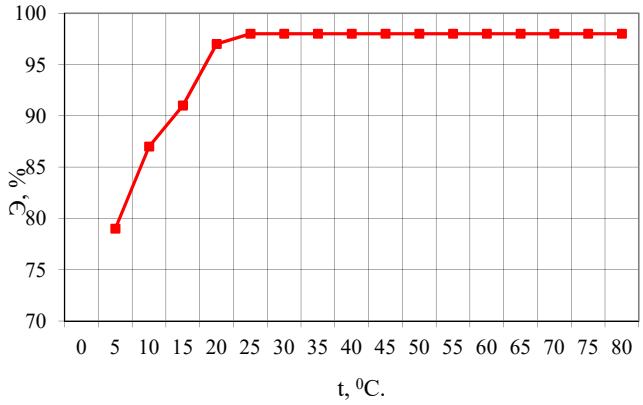


Рис. 5. Зависимость эффекта очистки от температуры СВ ППП (анод – ОРТА, плотность тока 3,5 А/дм^2, время обработки 15 мин)

По результатам проведенных исследований видно, что увеличение температуры от 20 до 80 °С не оказывало существенного влияния на скорость и эффективность процесса электрохимической обработки СВ, но уменьшало несколько расход электроэнергии. Это объясняется повышением электрической проводимости сточной жидкости (рис. 6) и снижением за счет этого напряжения между электродами.

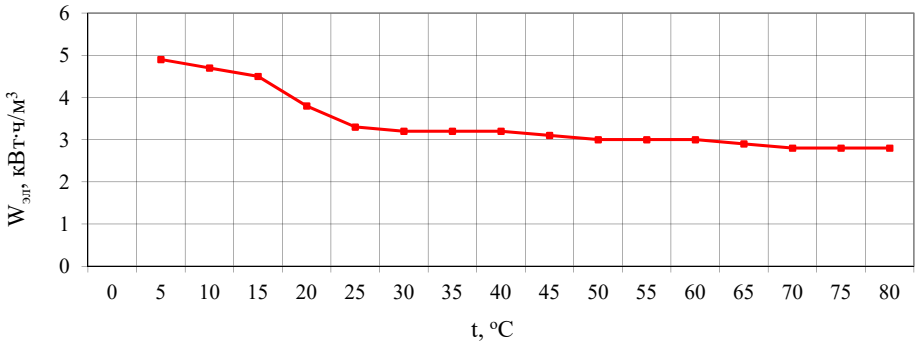


Рис. 6. Зависимость расхода электроэнергии от температуры СВ ППП (анод – ОРТА, плотность тока 3,5 А/дм^2, время обработки 15 мин)

Установленное в проведенном эксперименте уменьшение расхода электроэнергии $W_{эл}$ незначительно, поэтому специально стремиться к увеличению температуры обрабатываемых СВ нецелесообразно. Таким образом, оптимальная температура для проведения процесса электрохимического окисления СВ предприятий по производству табачно-махорочных изделий составляет 20—25 °С.

Изучение влияния водородного показателя pH на эффективность процесса электроокисления

Влияние pH среды на процесс электрохимической очистки связано с соотношением содержания активного хлора в формах HClO, ClO^- или Cl_2 (рис. 7) [15], обладающих различными окислительно-восстановительными потенциалами. По своей окислительной способности указанные соединения хлора в соответствии с редокс-потенциалами располагаются в следующий ряд: $HClO > Cl_2 > ClO^-$.

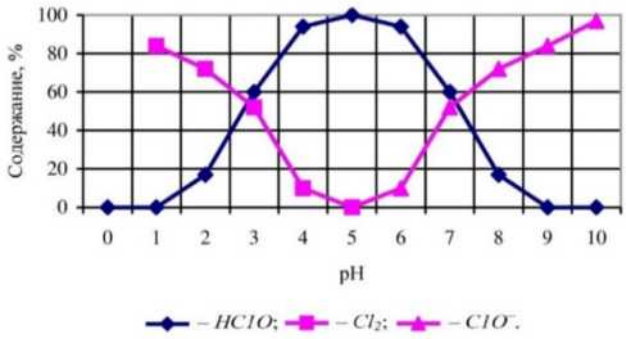


Рис. 7. Диаграмма состояния активного хлора в воде

Исходя из значений редокс-потенциалов наиболее эффективно окислительные процессы должны протекать в слабокислой среде, при pH ≈ 5,0, где содержание HClO максимально. Однако на практике наибольшая окислительная способность проявляется в нейтральной среде, при pH ≈ 7,0—7,5. Это связано с тем, что при таких значениях pH содержание HC1O и C1O$^-$ примерно одинаково, и система обладает наибольшей активностью, т. е. максимум скорости окисления в нейтральных растворах гипохлоритов обусловлен только свойствами окислительной системы.

Реакции, протекающие в растворах активного хлора, относят к типу реакций, катализируемых в слабокислой и нейтральной средах ионами H^+ и OH^-, которые в окислительно-восстановительном процессе могут быть и участниками, и его катализаторами [3, 13]. В среде, близкой к нейтральной, некатализируемых реакций нет. Кроме того, реакции, протекающие в растворах гипохлоритов, следует отнести к типу реакций общего кислотно-основного катализа, так как HClO и ClO^- являются сопряженными кислотой и основанием:

$$HClO + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + ClO^-;\ ClO^- + H_2O \leftrightarrow HClO + OH^- \quad (3)$$

Следует учитывать, что в щелочной среде катализ ионами H^- и OH^- отсутствует, а подвижность ионов C1O$^-$ значительно меньше в щелочной среде, чем в кислой и нейтральной [19].

В растворах кислородсодержащих соединений хлора окислительные процессы обусловлены действием атомарного кислорода, образующегося в результате разложения активного хлора. В чистых растворах гипохлоритов реакция сопровождается образованием хлоратов. Образование кислорода в результате разложения HC1O термодинамически менее вероятно, чем такой же процесс разложения иона C1O$^-$. При совместном присутствии в растворе хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона разложение их с образованием атомарного кислорода термодинамически более вероятно, чем процесс образования кислорода в результате разложения одного из компонентов [15, 22]. Исследование зависимости степени очистки от pH среды проводилось при следующих условиях: плотность тока — 3,5 А/дм^2, время обработки — 15 мин, температура раствора — 20 °С. Результаты представлены на рис. 8.

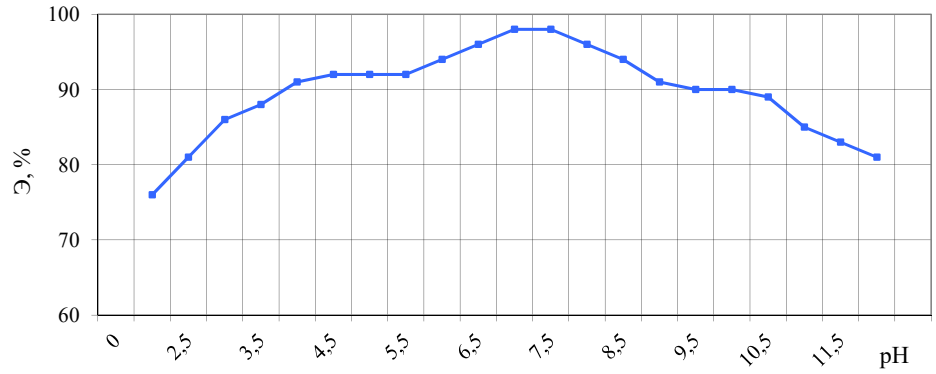


Рис. 8. Зависимость степени очистки СВ ППП от pH среды (анод – ОРТА, плотность тока — 3,5 А/дм^2, время обработки — 15 мин, температура раствора — 20 °С)

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что наибольший эффект очистки СВ от органических загрязнений методом электроокисления достигается при значениях pH среды от 6,5—7,5, т. е. близких к нейтральной.

Определение оптимальной концентрации поваренной соли

В основе всякого электролиза лежат процессы разложения веществ или получения новых продуктов на границе «электрод — раствор» при прохождении электрического тока через реакционное пространство, которые осуществляются как непосредственными участниками электрохимической реакции (если они присутствуют в ионизированном состоянии), так и специально добавляемыми соединениями — электролитами, обладающими высокой ионной проводимостью [11].

Загрязненные воды сами по себе изначально являются растворами электролитов, поскольку в них всегда присутствуют посторонние ионы в той или иной концентрации, а также гидроксид-ионы и катионы водорода, образующиеся при диссоциации воды. Наличие в СВ различных ионов существенно сказывается на ходе процесса электролиза, электрохимических показателях работы электрореакторов, эффективности очистки воды и т. п. При электрохимической деструкции органических загрязнений основным окислительным агентом является генерируемый в объеме обрабатываемой жидкости активный хлор, на выход которого, помимо режимных параметров электролиза, существенным образом влияет, естественно, концентрация хлорид-ионов [4]. В ряде случаев при недостаточном их содержании в исходную сточную жидкость дозируют раствор NaC1. Поэтому определение оптимальной концентрации поваренной соли важно как с технологической, так и экономической позиций.

Так как в рассматриваемых СВ ППП наблюдается небольшое количество ионов Cl^- (см. табл. 1) и для того чтобы интенсифицировать процесс электрохимической деструкции органических загрязнений в обрабатываемом стоке вследствие дополнительного образования при электролизе активного хлора, содержащего хлор и продукты его гидролиза, являющиеся сильными окислителями, в настоящей статье представлены результаты по изучению зависимости эффективности очистки расстраиваемых СВ с учетом ранее подобранных технологических параметров (материал анода, плотность тока, время обработки, температура и pH среды раствора) от концентрации добавленной к обрабатываемой воде поваренной соли (рис. 9).

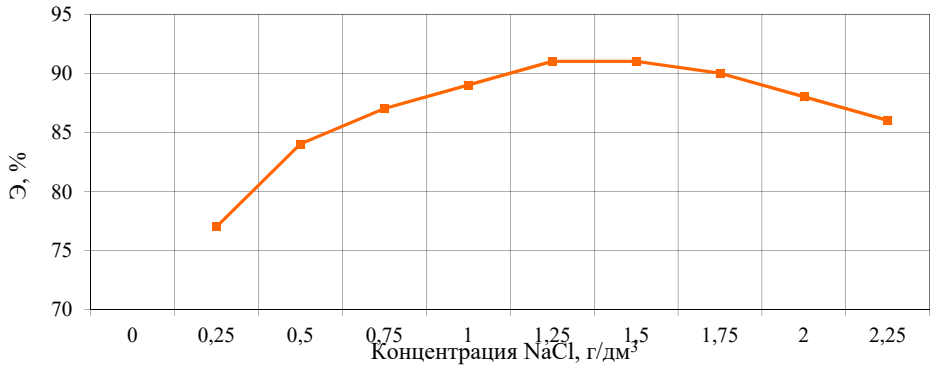


Рис. 9. Зависимость степени очистки СВ ППП от концентрации NaCl (анод — ОРТА, плотность тока — 3,5 А/дм^2, время обработки — 15 мин, температура раствора — 20 °С, pH среды раствора — 7)

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что наибольший эффект очистки СВ от органических загрязнений методом электроокисления достигается при добавлении поваренной соли (NaCl) в количестве 1,5 г/дм^3; дальнейшее увеличение дозы реагента в растворе приводит к окислению катодов, выполненных из нержавеющей стали, и, как следствие, ко вторичному загрязнению окислами металлов очищаемой сточной жидкости.

На основании представленных авторами результатов многочисленных исследований по подбору рациональных значений обработки рассматриваемых СВ были проведены итоговые испытания, позволяющие дать оценку перспективности использования электрохимических способов очистки СВ для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ (табл. 2).

Таблица 2

Результаты изменения концентраций загрязняющих веществ при применении электрохимической обработки СВ ППП

Наименование загрязняющих веществ	Изменение концентраций загрязняющих веществ		ПДК загрязняющих веществ	
	После механической очистки*	После электрохимической обработки	Канализационная сеть города**	Технические нужды для замкнутой системы водоснабжения ППП***
Взвешенные вещества, мг/дм^3	85	35	41,09	10
БПК$_{полн}$, мг·O$_2$/дм^3	685	29	34,44	15
ХПК, мг·O$_2$/дм^3	890	48	51,66	25
Жиры, мг/дм^3	4	0,3	10	0,8
Ионы аммония, мг/дм^3	32,5	1,5	26,98	2
Нефтепродукты, мг/дм^3	0,6	0,07	0,862	0,045
АПАВ, мг/дм^3	11,8	0,4	0,41	0,5
Фосфаты, мг/дм^3	0,56	0,3	1,3	0,8
Железо (общ.), мг/дм^3	0,2	0,05	0,24	0,3
Сульфаты, мг/дм^3	75	23	97,3	200
Хлориды, мг/дм^3	59	48	Не регламентируется	
pH	6,7	6,9	6,5…7,5	

*Концентрация загрязняющих веществ в исходной воде принята с учетом предварительной обработки СВ на сооружениях механической очистки; **установлены согласно постановлению администрации Волгограда от 18 июня 2015 г. № 840; ***приняты на основании технологического регламента ППП.

Вывод

Таким образом, в представленной статье авторами на основании выполненных исследований определены условия проведения процесса электрохимической очистки реальных СВ одного из ППП (материал анода — ОРТА, плотность тока — 3,5 А/дм^2, время обработки — 15 мин, температура раствора — 20 °С, pH среды раствора — 7; количество реагента (NaCl) — 1,5 г/дм^3). Полученные результаты по эффективности снижения исходных концентраций загрязняющих веществ при подобранных параметрах позволяют сделать

вывод о перспективности использования электрохимических способов обработки СВ для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Яковлев С. В., Карелин Я. А.* Очистка производственных сточных вод : учеб. пособие. М.: Стройиздат, 1985. 216 с.

2. *Gopala Krishna G. V. T., Kumar P., Kumar P.* Complex wastewater treatment using an anaerobic baffled reactor // Environmental Progress. 2007. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 391—398.

3. Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, В. А. Коробков, А. В. Щербаков, Л. В. Олефиренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 140—148.

4. *Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М.* Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.

5. *Noronha M.* Treatment of spent process water from a fruit juice company for purposes of reuse: hybrid process concept on-site test operation of a pilot plant // Desalination. 2002. Vol. 143. Pp. 183—196.

6. Комбинированное устройство для очистки многокомпонентных сточных вод предприятий табачной индустрии / Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 3. С. 36—44.

7. *Ильин В. И., Колесников В. А.* Технология электрохимической очистки промышленных сточных вод с водооборотом // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 2. Ч. 1. С. 21—24.

8. *Игнаткина Д. О., Батманов В. П., Белогородская М. Ю., Гиззатова Г. Л.* Innovative solutions to improve the purification method of chromium-containing waste water // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083: International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID 2020, p. II). 16—17 December 2020, Nalchik, Russian Federation. IOP Publishing, 2021. 6 p. (012092). DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012092.

9. *Saravacos G. D., Iredale H. D.* Physical treatments of food processing waste waters // Food and Life Science Bulletin. 1971. Vol 12. Pp. 1—5.

10. *Геращенко А. А., Сахарова А. А., Игнаткина Д. О.* A Modern Integrated Approach in the Technology of Wastewater Treatment of Dye-Printed Manufactures of a Textile Enterprise // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 272: International science and technology conference “Earth science” (Russky Island, Russian Federation, 4—6 March, 2019). IOP Publishing, 2019. 6 p. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022188/pdf.

11. *Краснобородько И. Г.* Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л.: Химия, 1988. 192 с.

12. *Chipasa K. B*. Limits of physicochemical treatment of waste water in the vegetable oil refining industry // Pol. J. Environ. Stud. 2001. Vol. 10. Iss. 3. Pp. 141—147.

13. *Игнаткина Д. О., Геращенко А. А.* Разработка технологии локальной очистки предприятия пищевой промышленности // Яковлевские чтения : сб. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти акад. РАН С. В. Яковлева. М., 2021. С. 129—135. URL: http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/

14. Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод / А. В. Москвичева, М. В. Пухов, Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, А. Ю. Трегубов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 150—159.

15. *Краснобородько И. Г., Яковлев С. В.* Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 312 с.

16. Пат. 178983 Российская Федерация, МПК C02F 9/06 (2006.01). Устройство для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, И. В. Селиверстов; ВолгГТУ. 2018.

17. *Goldberg I.* Determination of toxic elements in the ecological evalution of metalliferous deposits of neare oil and natural ditumens // G Unitar intern confer on heave crude and tar sands. Houston. 1995. Vol. 2. Pp. 721—726.

18. *Матов Б. М.* Электрофлотационная очистка сточных вод. Кишинев: КартяМолдовеняскэ, 1982. 170 с.

19. Теоретическое обоснование применимости электрохимического метода обработки сточных вод для предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина, А. П. Поздняков, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 88—96.

20. Методы измерения в электрохимии / под ред. Э. Егера; пер. с англ. 1977. Т. 2. 694 с.

21. *Москвичева А. В., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Лебедев Д. Н.* A combination machine for industrial wastewater purification // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698: The International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development" (CATPID-2019) 01—05 October 2019, Kislovodsk. IOP Publishing, 2019. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055037.

22. *Bressan M.* Improved combined chemical and biological treatments of olive oil mill waste waters // Journal of Agricultural & Food Chemistry. 2004. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 1228—1233.

© Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Геращенко А. А., Телятникова В. С., Гильгенберг А. Ю., Котломина Д. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Перспективы использования электрохимических способов очистки сточных вод для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Геращенко, В. С. Телятникова, А. Ю. Гильгенберг, Д. В. Котломина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 46—60.

Об авторах:

Игнаткина Дарья Олеговна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Анастасия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Геращенко Алла Анатольевна — канд. техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Телятникова Виктория Сергеевна — канд. экон. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Гильгенберг Александра Юрьевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Котломина Дарья Витальевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Dar'ya O. Ignatkina, Anastasia V. Moskvicheva, Alla A. Gerashchenko, Viktoriya S. Telyatnikova, Aleksandra Yu. Gil'genberg, Dariya V. Kotlomina

Volgograd State Technical University

PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTROCHEMICAL METHODS OF WASTEWATER TREATMENT TO ACHIEVE VARIOUS STANDARDS OF PERMISSIBLE DISCHARGES OF POLLUTANTS

This article discusses the problems related to the choice of wastewater treatment methods, which include a significant range of polluting components: suspended impurities, dissolved inorganic and organic substances, as well as various microorganisms. Using the example of real wastewater

from one of the food industry enterprises, the authors carried out studies that prove the prospects of using physicochemical methods of wastewater treatment, in particular electrochemical treatment in order to achieve various regulatory requirements for maximum permissible concentrations of pollutants. The article presents the results of determining the rational parameters for electrical wastewater treatment (choice of electrode material, current density, processing time, temperature, pH of the medium, the amount of reagent). Summarizing results are presented that demonstrate the effectiveness of changing the initial concentrations of pollutants in wastewater as a result of electrochemical treatment, taking into account the selected parameters.

K e y w o r d s: waste water, treatment, food industry enterprise, electrochemical treatment, technological parameters of cleaning.

For citation:

Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Gerashchenko A. A., Telyatnikova V. S., Gil'genberg A. Yu., Kotlomina D. V. [Prospects for the use of electrochemical methods of wastewater treatment to achieve various standards of permissible discharges of pollutants]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 46—60.

About authors:

Dar'ya O. Ignatkina — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Anastasia V. Moskvicheva — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Alla A. Gerashchenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Viktoriya S. Telyatnikova — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Aleksandra Yu. Gil'genberg — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Dariya V. Kotlomina — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

УДК 628.34

Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, И. М. Шевцова, В. С. Телятникова

Волгоградский государственный технический университет

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Освящены вопросы, касающиеся перспективы использования многоцелевых инженерно-технических устройств для очистки сточных вод, с помощью которых возможно достигать нормативных подателей по различным загрязнителям как органического, так и неорганического происхождения. Приведены результаты по разработке конструкции комбинированного устройства электролизера-адсорбера, позволяющего производить два последовательных процесса обработки некондиционных стоков, а именно электрохимическое окисление и сорбцию. Даны рекомендации по расчету для промышленного применения многоцелевой инженерно-технической установки, разработанной авторами. Приведены результаты по подбору рациональных параметров электроокислительно-сорбционной очистки некондиционных вод на примере одного из предприятий пищевой промышленности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сточные воды, технология очистки, электрохимический метод очистки сточных вод, многоцелевые установки, конструкция устройства, рациональные параметры процесса очистки.

При проектировании системы канализации промышленных предприятий, в частности пищевой отрасли, целесообразно изначально рассматривать вопрос о технической возможности повторного использования очищенных сточных вод (СВ) для производственных нужд, исключив их сброс в канализационную сеть или водоем.

В отечественной и зарубежной практике накоплен обширный опыт применения технологий очистки СВ от различных загрязнителей как органического, так и неорганического характера, но, несмотря на это, подбор рационального и экономически целесообразного способа извлечения загрязнений из некондиционных вод предприятий пищевой промышленности остается актуальной задачей [1, 2].

На сегодняшний день перспективным является использование электрохимических методов очистки СВ, так как по сравнению с традиционными реагентным и биологическим он имеет ряд преимуществ: позволяет сократить производственные площади, требуемые для размещения оборудования; дает возможность коррекции физико-химических свойств обрабатываемой жидкости и извлечения из нее ценных веществ; значительно упрощает технологическую схему очистки и эксплуатацию установок; обеспечивает снижение солесодержания в воде; упрощает автоматизацию работы всех сооружений [2—4]. Более того, в большинстве случаев способ электрохимической обработки сточной жидкости является экологически чистой технологией по причине того, что в отличие от реагентных методов исключается вторичное загрязнение воды такими компонентами, как анионные и катионные остатки.

Для достижения более глубокой очистки СВ от органических и неорганических поллютантов применяется сорбционный метод, который позволяет достигать значений требуемых концентраций по ряду загрязнителей и использовать очищенную воду повторно в технологическом процессе предприятия [5—7].

Современное решение проблемы очистки СВ пищевой отрасли в связи с удорожанием воды как производственного ресурса должно отвечать двум основным критериям:

1) обеспечение необходимого качества очищаемой воды для многократного использования в производственном процессе;

2) эколого-экономическая целесообразность.

Обзор литературных источников, посвященных вопросам очистки СВ предприятий пищевой промышленности, показал, что отечественные и зарубежные ученые [1—7] активно занимаются разработкой методов, аппаратов и технологий очистки СВ от органических загрязнений, но, несмотря на их обилие, подбор оптимального и эффективного способа извлечения загрязнений из СВ предприятий пищевой отрасли остается не до конца решенной задачей. Поэтому совершенствование известных методов очистки и создание новых многоцелевых технических устройств на их основе несомненно является актуальным, так как не только позволит успешно решать проблему высокой антропогенной нагрузки на водные ресурсы, но и создаст условия для использования некондиционных вод в водообороте предприятия, а также существенно повысит экологическую безопасность промышленного объекта в целом [8—10].

Авторами статьи для решения обозначенных выше проблем было разработано инженерно-техническое устройство (рис. 1), где в качестве основного метода снижения концентраций загрязняющих веществ, входящих в состав сточных вод пищевых предприятий, до значений, близких к допустимым концентрациям (ДК) загрязняющих веществ [11—13], позволяющих сбрасывать очищенную воду в канализационную сеть города, был выбран метод электрохимического окисления, а в качестве доочистки — сорбционный метод. Это позволит повторно использовать очищенную воду на технические нужды предприятий.

Для оценки эффективности работы многоцелевого инженерно-технического устройства, разработанного авторами [13, 14], исследования и подбор основных технологических параметров работы сооружения производились на реальных СВ, образующихся в результате хозяйственно-производственной деятельности на табачной фабрике, расположенной на территории РФ. Усредненные показатели химического состава СВ, образующихся на рассматриваемом предприятии, представлены в табл. 1.

Принцип работы многоцелевого инженерно-технического устройства, разработанного авторами, следующий:

1) после предварительной механической очистки загрязненная жидкость из бака накопителя подается через штуцер (*3*) в электролизер-адсорбер, в зависимости от производительности устройства насосом задается скорость подъема водяного столба через перфорированные пластины электродов (*9*), где происходит электрохимическая обработка СВ;

Таблица 1

Усредненные показатели химического состава СВ, образующихся на табачной фабрике, за период 2018—2020 гг.

Наименование показателей	Места отбора проб СВ				
	№ 1 — табачный цех линии ESS и CRES	№ 2 — табачный цех	№ 3 — сигаретный цех	№ 4 — быт. помещ. + лаб. корпус	№ 5 — выход с фабрики
	Производственные	Хозяйственно-бытовые	Производственные	Хозяйственно-бытовые	Смешанные
$БПК_{полн}$, мг·O_2/дм^3	1410	59	543	244	1856
Взвешенные вещества, мг/дм^3	153	22	242	38	181
Железо (общ.), мг/дм^3	0,12	0,18	0,23	0,15	0,2
Жиры, мг/дм^3	5,7	1,69	2,78	4,3	5,9
Аммоний (NH_4), мг/дм^3	44,11	8,08	48,35	12,77	32,5
Нефтепродукты, мг/дм^3	0,59	0,44	0,62	0,42	0,94
АПАВ, мг/дм^3	23,6	6,4	24,8	30,2	21,8
Фосфаты, мг/дм^3	<0,05	0,66	0,85	0,14	0,56
ХПК, мг·O_2/дм^3	2455	97	824	373	2830
Хлориды, мг/дм^3	69	59	64	58	59
Сульфаты, мг/дм^3	83	71	78	77	75
Сухой остаток, мг/дм^3	920	160	782	162	834
Прокаленный остаток, мг/дм^3	250	217	229	220	225
pH	6,1	7,75	8,8	7,2	6,69

2) при достижении СВ, прошедших электрохимическую очистку, заданного уровня последние через штуцер (*11*) поступают в первую камеру двухкамерного адсорбера (*10*), заполненного сорбционным материалом; затем через переливное отверстие (*12*) вода нисходящим потоком попадает во вторую камеру, где при достижении заданного уровня сливается через кран слива очищенной воды (*13*);

3) флотационная пена с помощью скребкового механизма (*15*) отводится в приемник флотошлама;

4) флотационный шлам перекачивается на обработку через кран для перекачки флотошлама (*23*);

5) в процессе эксплуатации установки неизбежно происходит выделение газообразных и мелкокристаллических видов осадков, скопившиеся газы отводятся через расположенный в крышке электролизера газоотводный патрубок (*24*), а накопившийся осадок удаляется путем промывки устройства с помощью крана (*1*).

Основными технологическими параметрами, влияющими на эффективность и энергоемкость электроокислительно-сорбционной очистки, являются: исходная концентрация загрязнений в СВ, pH водной среды, электропроводность сточной жидкости, анодная плотность тока, время электрообработки, материал электродов (анода и катода) и расстояние между ними, материал и высота сорбционной загрузки, скорость фильтрования и др. [15—20].

Определение рациональных значений технологических параметров проведения совместной электроокислительно-сорбционной обработки, обеспечивающих устойчивый режим очистки воды до ДК по указанным ранее ингредиентам (см. табл. 1), осуществлялось на реальных СВ предприятия табачной индустрии РФ на пилотной установке (рис. 2), изготовленной на основании конструктивных чертежей разработанного устройства (см. рис. 1).

Расчет для промышленного применения многоцелевой инженерно-технической установки выполнялся в следующей последовательности:

1. Объем камеры электролизера определялся по формуле:

$$V_к = B \cdot L \cdot H \text{, м}^3, \tag{1}$$

где B, L, H — ширина, длина и высота камеры соответственно, м.

Высота камеры находилась по формуле:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \text{, м}, \tag{2}$$

где h_1 — высота электродов, м; h_2 — высота раствора над электродами, м; h_3 — слой шлама, м.

2. Число пластин электродов (n), размещенных в установке шириной (B), рассчитывалось по формуле:

$$n = \frac{B - 2d + C}{P + C} \text{, шт}, \tag{3}$$

где d — зазор между крайними пластинами и стенками камеры, d = 50—100 мм; C — расстояние между пластинами электродов, C = 3—15 мм; P — толщина пластин электродов, P = 4—10 мм.

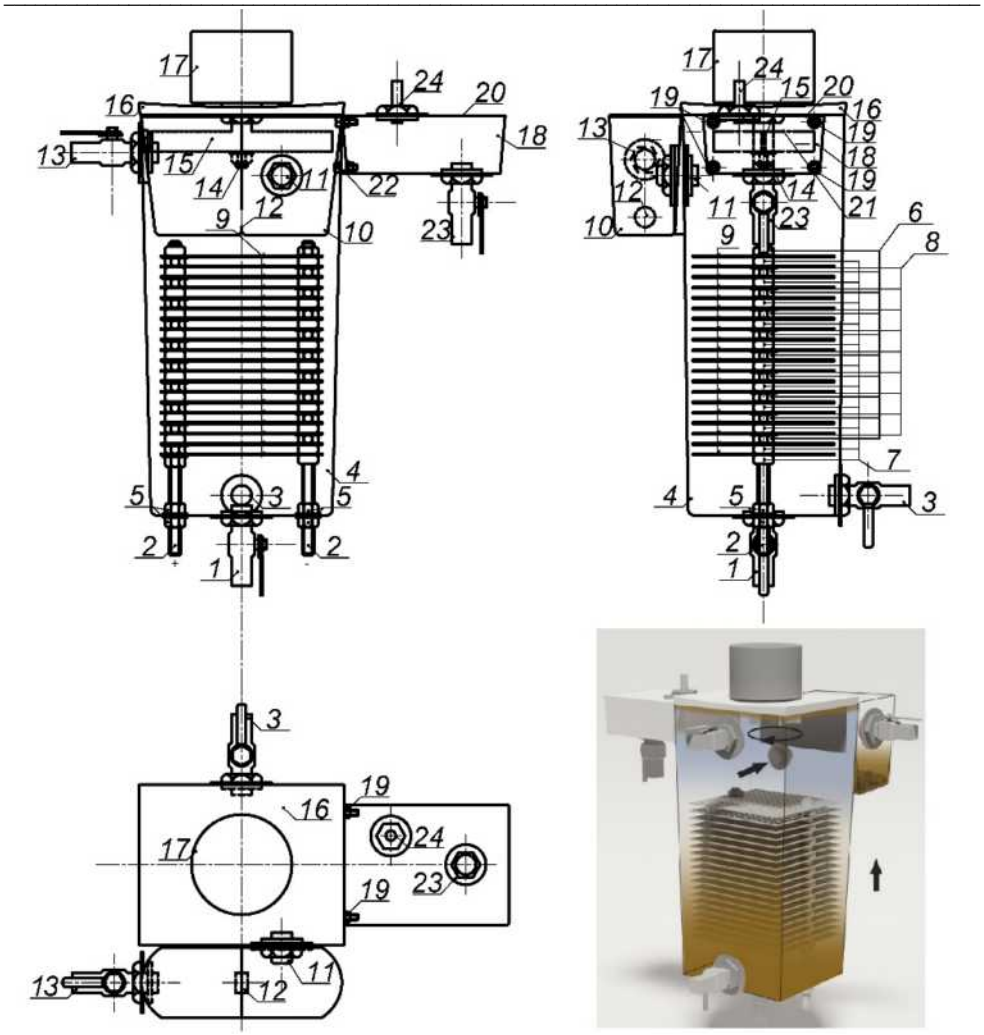


Рис. 1. Многоцелевое инженерно-техническое устройство для очистки сточных вод на предприятиях пищевой промышленности: *1* — кран для промывки устройства; *2* — направляющие контактные шпильки; *3* — штуцер подачи сточных вод; *4* — корпус устройства; *5* — гайки крепления контактных направляющих шпилек в корпусе установки; *6* — контактные гайки крепления пластин электродов; *7* — диэлектрические гайки крепления пластин электродов; *8* — диэлектрические прокладки; *9* — пластины электродов электролизера; *10* — адсорбер; *11* — штуцер для подачи в адсорбер сточных вод, прошедших электрохимическую обработку; *12* — переливное отверстие адсорбера; *13* — кран слива очищенной воды; *14* — вал скребкового механизма; *15* — скребковый механизм, выполненный в виде лопастной мешалки; *16* — крышка корпуса электролизера-адсорбера; *17* — редуктор скребкового механизма; *18* — приемник флотошлама; *19* — болты крепления к электролизеру-адсорберу приемника флотошлама; *20* — крышка приемника флотошлама; *21* — отверстие для подачи флотошлама с помощью скребкового механизма, выполненного в виде лопастной мешалки, расположенной над поверхностью обрабатываемой жидкости, в приемник флотошлама; *22* — соединительная прокладка; *23* — кран для перекачки флотошлама; *24* — газоотводный патрубок

Рис. 2. Пилотная установка многоцелевого инженерно-технического устройства

3. Активная поверхность электродов S_a определялась по формуле:

$$S_a = (n-1)\cdot(L-2d)\cdot h_1, \text{ м}^2, \quad (4)$$

где h_1 — высота электродов, м; h_2 — высота раствора над электродами, м; h_3 — слой шлама, м.

4. Сила тока i в электролизере рассчитывалась согласно формуле:

$$i = I \cdot S, \text{ м}, \quad (5)$$

где I — анодная плотность тока (найденная из эксперимента), А/м^2; S — общая площадь электролитической камеры, м^2.

5. Эффективная площадь (сечение) электролитической камеры $S_{эф}$ определялась по формуле:

$$S_{эф} = S - S_{эл} = L \cdot B - n \cdot (L-2d) \cdot P, \text{ м}^2, \quad (6)$$

где $S_{эл}$ — площадь (сечение) камеры, занимаемой электродами, м^2.

6. Габаритные размеры адсорбера определялись исходя из объема подаваемых на очистку стоков и с учетом данных, полученных в результате построения математических расчетов по эффективности сорбционной доочистки СВ табачной фабрики в динамических условиях в зависимости от скоро-

сти фильтрования при различной толщине слоя сорбента, согласно которым рациональные значения рассматриваемого параметра находятся в диапазоне от 5 до 6,5 м/ч при толщине слоя загрузки гранулированного композитного сорбента [21—25], равном 0,8 м.

На рис. 3 показаны пробы СВ, которые отбирались после каждого этапа обработки (механический, электроокисление и сорбция) и подвергались лабораторным анализам согласно стандартным методикам. Результаты по подбору рациональных параметров электроокислительно-сорбционной очистки некондиционных вод ТФ представлены в обобщенном виде в табл. 2.

Таким образом, как видно из табл. 2 и рис. 3, очистка загрязненной жидкости предварительно механическим способом, а затем методом электрохимического окисления в сочетании с сорбционной доочисткой на комбинированном устройстве электролизере-адсорбере при правильно подобранных условиях обработки позволяет повысить качество очищенной воды по таким показателям, как $БПК_{полн}$, ХПК, АПАВ, азотсодержащим и взвешенным веществам, а также хлорид-ионам до требуемых нормативов, позволяющих сбрасывать очищенные СВ в городскую канализационную сеть и использовать повторно на технические нужды предприятия. Этот результат достигается за счет электрохимического окисления сложных органических соединений, которые под воздействием электрического тока подвергаются деструкции и переходят в более простые вещества, последующее удаление которых происходит в двухкамерном адсорбере.

а *б* *в* *г*

Рис. 3. Результаты отбора проб СВ после каждого этапа очистки: *а* — осадок после механической очистки и электроокислительно-сорбционной обработки; *б* — после механической очистки; *в* — после электроокисления; *г* — после сорбции

Таблица 2

Технологические параметры и эффективность электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства

Технологические параметры электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства			Наименование загрязняющих веществ	Изменение концентраций загрязняющих веществ			***ПДК загрязняющих веществ	
Наименование параметра		Значение		**После отстаивания	После электрохимической обработки	После адсорбера	[1]Канализационная сеть города	[2]Технические нужды ЗСВ ТФ
Производительность установки, $м^3/ч$		5	Взвешенные вещества, $мг/дм^3$	87—90	45—51	4—8	41,09	10
Температура воды, °С		18—20						
pH		6,5—7,2						
Расход реагента NaCl, $г/дм^3$		1,5	$БПК_{полн}$, $мг·O_2/дм^3$	1720—1760	138—144	12—14	34,44	15
Материал электродов	катод	Нержавеющая сталь	ХПК, $мг·O_2/дм^3$	2200—2280	224—235	21—23	51,66	25
	анод	ОРТА						
Расстояние между электродами, мм		3,5	Жиры, $мг/дм^3$	3,0—4,5	0,3—0,41	0,05—0,09	10	0,8
Толщина электродов, мм		4	Ионы аммония, $мг/дм^3$	32,5—36,8	1,8—2,7	0,5—1,2	26,98	2
Время электрообработки $t_{обр}$, мин		15						

Анодная плотность тока i, А/м^2		350	Нефтепродукты, мг/дм^3	0,5—0,71	0,07—0,09	0,02—0,03	0,862	0,04
*Режим эксплуатации		Непрерывный	АПАВ, мг/дм^3	21,8—24,3	0,9—1,32	0,2—0,34	0,41	0,5
Общий расход электроэнергии q, кВт·ч/м^3		3	Фосфаты, мг/дм^3	0,56—0,61	0,4—0,52	0,4—0,52	1,3	0,8
			Железо (общ.), мг/дм^3	0,2—0,22	0,09—0,1	0,02—0,05	0,24	0,3
Скорость фильтрования $v_ф$, м/ч		5	Сульфаты, мг/дм^3	75—90	59—65	41—44	97,3	200
Суммарная высота фильтрующего слоя $h_ф$, м		0,8	Активный хлор, мг/дм^3	—	940—1048	38—45	72,3 (по Cl^-)	150
Габаритные размеры, мм			Хлориды, мг/дм^3	59	48	1,2		
Длина	Ширина	Высота	pH	6,7—6,8	6,9—7,2	6,9—7,0	6,5—7,5	
1500	1500	2500						

*При осуществлении работ по обслуживанию предусматривается переключение на резервную установку; **концентрация загрязняющих веществ в исходной воде принята с учетом предварительной обработки СВ на сооружениях механической очистки; ***ПДК загрязняющих веществ: [1]установлены согласно постановлению администрации Волгограда от 18 июня 2015 г № 840, [2]приняты на основании технологического регламента ТФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мочалов И. П.* Применение физико-химических методов очистки вод малых населенных мест Сибири // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 10. С. 33—37.

2. *Шапкин Н. П.* Физико-химические исследования очистки сточных вод // Вэйстэк-2003: материалы международного конгресса. М., 2003. С. 164—165.

3. *Saravacos G. D., Iredale H. D.* Physical treatments of food processing wastewaters // Food and Life Science Bulletin. 1971. Vol. 12. Pp. 1—5.

4. *Goldberg I.* Determination of toxic elements in the ecological evalution of metalliferous deposits of neare oil and natural ditumens // G Unitar intern confer on heave crude and tar sands. Houston, 1995. Vol. 2. Pp. 721–726.

5. Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, В. А. Коробков, А. В. Щербаков, Л. В. Олефиренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 140—148.

6. *Гандурина Л. В., Фомичева Е. В*. Интенсификация физико-химической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 5. С. 17—20.

7. *Pothitou P., Voutsa D.* Endocrine disrupting compounds in municipal and industrial waste water treatment plants in Northern Greece // Chemosphere. 2008. Vol. 73. Pp. 1716—1723.

8. *Taralas G., Kontominas M. G.* Thermochemical treatment of solid and wastewater effluent soriginating from the olive oil food industry // Energy & Fuels. 2005. Vol. 19. Iss. 3. Pp. 1179—1185.

9. *Bressan M.* Improved combined chemical and biological treatments of olive oil mill waste waters // Journal of Agricultural & Food Chemistry. 2004. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 1228—1233.

10. *Игнаткина Д. О., Геращенко А. А.* Разработка технологии локальной очистки предприятия пищевой промышленности // Яковлевские чтения : сб. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф. М., 2021. С. 129—135. URL: http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/

11. *Chipasa K. B.* Limits of physicochemical treatment of wastewater in the vegetable oil refiningindustry // Pol. J. Environ. Stud. 2001. Vol. 10. Iss. 3. Pp. 141—147.

12. *Майоров С. А., Седов Ю. А., Парахин Ю. А.* Электрохимическая очистка сточных вод промышленных предприятий // Экологическая безопасность в техносфере 2010 г. : материалы Всерос. науч.-техн. интернет-конф. Орел, 2011. С. 80 –83.

13. *Игнаткина Д. О*. Комбинированное устройство для очистки многокомпонентных сточных вод предприятий табачной индустрии // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 3. С. 36—44.

14. Пат. 178983 Российская Федерация, МПК МПК C02F 9/06 (2006.01). Устройство для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений [Текст] / Д. О. Игнаткина [и др.]; ВолгГТУ. № 2017139298; заявл. 13.11.2017; опубл. 24.04.2018, Бюл. № 12. 8 с.

15. *Краснобородько И. Г.* Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л.: Химия, 1988. 192 с.

16. *Краснобородько И. Г., Яковлев С. В.* Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 312 с.

17. Innovative solutions to improve the purification method of chromium-containing waste water / Д. О. Игнаткина, В. П. Батманов, М. Ю. Белогородская, Г. Л. Гиззатова // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083: International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID 2020, p. II). 16—17 December 2020, Nalchik, Russian Federation. IOP Publishing, 2021. 6 p. (012092). DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012092.

18. Теоретическое обоснование применимости электрохимического метода обработки сточных вод для предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина, А. П. Поздняков, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 88—96.

19. *Воронов Ю. В., Яковлев С. В.* Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. М.: АСВ, 2006. 704 с.

20. *Фурсов С. В., Ахметов Т. О.* Электрохимические методы очистки сточных вод // Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность: сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. Стерлитамак: Типография «Фобос», 2013. С. 190—191.

21. Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод / А. В. Москвичева, М. В. Пухов, Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, А. Ю. Трегубов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 150—159.

22. *Игнаткина Д. О.* Разработка технологии очистки многокомпонентных сточных вод предприятия табачной промышленности: автореф. дис. … канд. техн. наук. Пенза, 2019. 24 с.

23. *Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М*. Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.

24. *Ротинян А. Л., Тихонов К. Л., Шошина И. А.* Теоретическая электрохимия. Л.: Химия, 1981. 421 с.

25. *Москвичева А. В., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Лебедев Д. Н*. A combination machine for industrial wastewater purification // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698: The International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development” (CATPID-2019) 01—05 October 2019, Kislovodsk. IOP Publishing, 2019. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055037.

© Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Юрьев Ю. Ю., Шевцова И. М., Телятникова В. С., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Очистка промышленных сточных вод с использованием многоцелевых инженерно-технических устройств / Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, И. М. Шевцова, В. С. Телятникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 61—72.

Об авторах:

Игнаткина Дарья Олеговна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Юрьев Юрий Юрьевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Шевцова Ирина Михайловна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Телятникова Виктория Сергеевна — канд. экон. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Dar'ya O. Ignatkina, Elena V. Moskvicheva, Yurii Yu. Yur'ev, Irina M. Shevtsova, Viktoriya S. Telyatnikova

Volgograd State Technical University

INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT USING MULTI-PURPOSE ENGINEERING DEVICES

In this article, the authors highlight issues related to the prospects for the use of multipurpose engineering and technical devices for wastewater treatment with the help of which it is possible to reach regulatory applicants for various pollutants of both organic and inorganic origin. The results of the development of the design of the combined device of the electrolyzer-adsorber, which makes it possible to carry out two sequential processes of processing substandard effluents, namely, electrochemical oxidation and sorption, are presented. Recommendations are given for the calculation for

industrial use of a multipurpose engineering and technical installation developed by the authors. The results of the selection of rational parameters for the electrooxidation-sorption treatment of substandard waters are presented on the example of one of the food industry enterprises.

K e y w o r d s: wastewater, treatment technology, electrochemical wastewater treatment, multipurpose installations, device design, rational parameters of the treatment process.

For citation:

Ignatkina D. O., Moskvicheva E. V., Yur'ev Yu. Yu., Shevtsova I. M., Telyatnikova V. S. [Industrial wastewater treatment using multi-purpose engineering devices]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 61—72.

About authors:

Dar'ya O. Ignatkina — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Yurii Yu. Yur'ev — Canidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Irina M. Shevtsova — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Viktoriya S. Telyatnikova — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

УДК 624.13

И. М. Шевцова[а], Д. О. Игнаткина[а], Е. В. Москвичева[а], И. В. Быканов[б]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] «СтройинкомИнжиниринг»

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОДТОПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА)

Инженерное освоение территорий, т. е. подготовка их к строительству (вертикальная планировка, разработка котлованов и траншей, прокладка коммуникаций и т. д.), само строительство и дальнейшая эксплуатация отдельных зданий приводят к нарушению ранее сложившегося динамического равновесия в водном балансе этой территории. Вследствие этого происходит интенсивный подъем уровня грунтовых вод. Авторами рассмотрена проблема подтопления подземных частей отдельных зданий и сооружений, а также устройство водоотводящих дренажей. В данной статье представлены мероприятия по предупреждению подтопления грунтовыми водами в различных районах г. Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водоотводящие дренажи, подтопление грунтовыми водами, локальный дренаж, кольцевой дренаж, трубчатый дренаж.

Высокие темпы промышленного и городского строительства, а также освоение ранее незастроенных территорий в нашей стране приводят к коренным преобразованиям природных условий на обширных территориях, в результате чего нарушается естественный водный баланс поверхностных и грунтовых вод, заметно преобразуются геологические и гидрогеологические условия [1—3].

В настоящее время население и территория Земли с многочисленными объектами хозяйства подвержены негативным воздействиям. Особенно остро стоят вопросы инженерной защиты от опасных геологических процессов урбанизированных территорий. В полной мере это относится и к территории г. Волгограда, что связано с широким развитием в пределах города в первую очередь процессов подтопления[1] [3—5].

Процесс подтопления — яркий пример ответной реакции геологической среды на действие техногенных факторов. Впервые он привлек к себе внимание при создании водохранилищ, когда уровень грунтовых вод по их берегам стал подниматься. При строительстве Волжско-Камского каскада ГЭС коренным образом изменилось гидрогеологическое состояние р. Волги. С точки зрения гидрогеологии после постройки плотин и сооружения водохранилищ Волга из реки превратилась в цепь проточных озер. Плотина волжской ГЭС изменила скорость течения и подняла уровень воды на 26 м [5—7], образовав обширное водохранилище протяженностью порядка 540 км. В настоящее время под подтоплением понимают любое повышение уровня грунтовых вод выше некоторого критического положения, при котором отсутствуют необходимые условия для строительства и эксплуатации как отдельных зданий, так и территории в целом.

[1]СП 11-105—97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

Подтопление развивается также вследствие подпора грунтовых вод при создании водохранилищ и сельскохозяйственном освоении территории с применением технологий гидромелиорации.

Волгоградская агломерация расположена на юго-востоке Европейской территории России в зоне сухих степей и полупустынь, для которой характерен значительный дефицит природного увлажнения. Но когда проезжаешь Волгоград с севера на юг, наблюдаешь пейзажи заболоченных и подтопленных территорий [5, 8]. Этот факт вызывает научный интерес, требует анализа и изучения данной проблематики.

Волгоград находится на стыке трех геоморфологических районов: Приволжской возвышенности, Ергеней и Прикаспийской низменности, расчлененных долиной Волги.

В пределах Приволжской возвышенности (в городской черте) максимальные отметки рельефа (130—150 м над уровнем моря) находятся в западной части города. Слабовыпуклые водоразделы обычно постепенно (за исключением южной части города) переходят в склоны речных долин и балок. Склоновая часть возвышенности расположена в интервале высот от 40—50 до 100—120 м [7, 8]. Главный склон спускается к Хвалынской террасе, на которой расположена нижняя, основная часть города. Почти на всем протяжении, за исключением оползневых зон и зеленых разрывов, терраса застроена. Здесь, вдоль подножия Приволжской возвышенности, на месте Бекетовской низины в среднечетвертичное время находилась излучина главного русла древней Волги. В время последней трансгрессии Каспийского моря это русло было почти до краев заполнено морскими глинами хвалынского горизонта. Эти водонепроницаемые глины как естественная «плотина» перегородили поток подземных вод, стекающих с Приволжской возвышенности, что вызвало их местный подпор, а затем и перетекание воды на дневную поверхность низины и ее постоянное подтопление. Накапливающиеся грунтовые воды не имеют оттока, что приводит к заболоченности и засоленности этого участка и формированию соответствующего микроклимата [7, 9].

Вызывается техногенное подтопление в первую очередь ненормированным поливом зеленых насаждений, особенно в границах малоэтажной частной застройки, в меньшей мере — утечками из водонесущих коммуникаций и промышленных технологических вод, инфильтрацией атмосферных осадков в результате резкого нарушения поверхностного стока, конденсацией влаги под экранированными застройкой и асфальтом участками поверхности[2] [3—5]. В результате воздействия названных факторов на территории Волгограда образовался целый ряд постоянных техногенных водоносных горизонтов и зон обводнения.

Уже зафиксирован случай деформации одноэтажного частного жилого дома в Советском районе Волгограда (рис. 1), построенного в 1990-е гг. без специальных конструктивных мероприятий, в результате усадки глин майкопской серии.

[2]Там же.

а *б*

Рис. 1. Разрушение фундамента: *а* — в результате просадки; *б* — вследствие капиллярного проникновения влаги

Подтопление территорий — наиболее распространенный опасный процесс на территории нашей страны, вызывающий активизацию ряда других геологических процессов. Кировский и Дзержинский районы считаются самыми подтопляемыми территориями Волгограда [3, 4, 7]. Устройство дренажной системы нужно еще и потому, что после таяния снегов и сильных дождей в районах начинается подтопление домов. В итоге здесь развит комплекс неблагоприятных процессов: подтопление, набухание, просадки. Негативное воздействие подтопления не ограничивается аварийностью зданий и затоплением подвалов. Следующим звеном этой цепочки является развитие в них болезнетворной флоры и фауны (появление грибов, комаров) и в результате — заболеваний человека.

В то же время техногенное подтопление приобрело большое развитие лишь в последние время, исследование его и разработка действий по предотвращению далеко не завершены, сказывается нехватка специальной литературы, посвященной этому вопросу. Поэтому в данной статье основное внимание уделено мониторингу и предотвращению техногенного подтопления застроенных территорий [6—11].

Защита застраиваемых территорий и сооружений от подтопления грунтовыми водами осуществляется путем проведения предупредительных и собственно защитных мероприятий.

Мероприятия по предупреждению подтопления обычно входят в состав инженерной подготовки застраиваемых территорий и включают:

– предотвращение поступления на территорию поверхностных вод со стороны, т. е. ее затопления;

– усиление дренирующего действия расположенных вблизи водоемов;

– организацию стока талых и дождевых вод на самой территории для уменьшения их инфильтрации в грунт;

– устранение утечек из водопроводно-канализационной сети и других водных коммуникаций, а также потерь воды из технологических циклов промышленных предприятий.

Необходимо сказать, что техногенное подтопление — следствие нормальной хозяйственной жизни человека. В то же время оно чаще всего интенсифицируется там, где существуют проблемы в проектировании, строительстве и использовании сооружений. Поэтому своевременный мониторинг

подтопления застраиваемой территории и организация специальной борьбы с ним, т. е. предупредительных и защитных мер, выступают необходимыми условиями нормальной хозяйственной работы. Очень актуальными вопросы прогноза и защиты от подтопления становятся на тех участках, где природные условия благоприятствуют развитию подтопления. Это участки, сложенные слабопроницаемыми и набухающими при увлажнении грунтами, слабо развитой эрозионной сетью, неглубоким залеганием водоупорных слоев с неровной кровлей, затрудненным поверхностным и особенно подземным стоком.

Территории относят к подтопляемым, если уровень грунтовых вод на них может временно или постоянно, в зависимости от режима грунтовых вод, оказаться в зоне размещения подземной части зданий или сооружений. Поэтому на участках с грунтовыми водами, залегающими близко к поверхности земли, их уровень следует понижать таким образом, чтобы не нарушать условия произрастания зеленых насаждений и защитить подземные части зданий и сооружений, обеспечить нормальную их эксплуатацию [9, 12].

При наличии на застраиваемых территориях подтопляемых объектов часто бывает целесообразно устраивать системы дренажей для общего понижения уровней грунтовых вод. В отличие от локальных дренажей системы общего понижения уровня грунтовых вод направлены не столько на защиту отдельных объектов, сколько на регулирование уровней фильтрационного потока в целом. Поэтому проектирование дренажной системы обычно носит характер технико-экономического сравнения. Критерием выбора варианта дренажной системы служит выполнение следующих основных требований:

– система должна обеспечивать необходимое понижение уровней грунтовых вод на защищаемой территории, где имеется подтопление [12—14];

– понижение уровня грунтовых вод на защищаемой территории не должно сопровождаться различными неблагоприятными факторами, такими как деформация зданий от осадки грунтов при осушении, снижение эксплуатационных запасов водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения;

– дренажная система должна проектироваться с учетом существующей и проектируемой застройки;

– выбранная система дренажа должна быть экономичной не только по сравнению с остальными вариантами, но и с другими возможными способами борьбы с подтоплением.

При проектировании системы дренажа необходимо учитывать две основные задачи:

1) выбор конструкции дренажа;

2) выбор схемы размещения дренажа в плане.

Конструкция должна обеспечить необходимое регулирование уровней грунтовых вод, схема — управление движением потока в плане.

Конструктивные способы борьбы с подтоплением применяют в зонах со значительным, а также постоянным уровнем грунтовых вод. В зависимости от характера причин подтопления методы включают устройство сооружений, искусственно понижающих уровень грунтовых вод (УГВ), либо совокупность данных построек с предупредительными мерами [12, 14, 15].

Дренажи являются сооружениями, предназначенными для искусственного понижения УГВ в соответствии с требуемой нормой осушения. По конст-

руктивному решению элементов захвата грунтовых вод дренажи подразделяют на горизонтальные, вертикальные и комбинированные.

Горизонтальные дренажи являются наиболее распространенными в городском строительстве. Они представляют собой открытый или заполненный дренирующим материалом лоток, но чаще перфорированную трубу, снабженную фильтрующим устройством. Трубы заглубляют в водоносный пласт (рис. 2)[3] [3—5] ниже уровня грунтовых вод и укладывают с продольным уклоном, обеспечивающим безнапорное движение при неполном заполнении коллектора.

Движение грунтовых вод к дренажу происходит благодаря избыточному давлению (напору) в жидкости, который поддерживается на уровне воды в дренах, пониженный уровень в них обеспечивается бесперебойным сбросом дебита в водоприемник, которым может служить канализационная сеть или же водоем [14—16]. В отдельных случаях может возникнуть необходимость перекачки дренажных вод в водоприемник, например при заложении дрен ниже отметки воды в нем.

Вертикальный дренаж проектируют в тех случаях, когда при наличии мощного водоносного горизонта требуется большое понижение УГВ, а горизонтальный дренаж нецелесообразно закладывать на большой глубине. Он представляет собой группу трубчатых колодцев, объединенных общими водоотводными и сбросными сетями. Фильтрующую часть этих колодцев значительно заглубляют в водоносный пласт (рис. 3) [3], обеспечивая поддержание свободного уровня воды в колодцах на большой глубине. Удаление дренажных вод в водоприемник производят принудительной откачкой, так как самотечный режим эксплуатации вертикальных дрен невозможен.

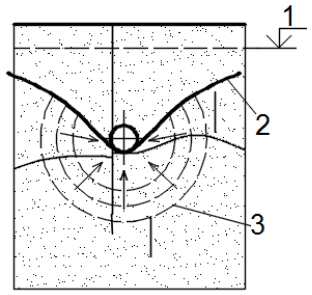


Рис. 2. Схемы притока грунтовых вод (горизонтальный дренаж): *1* — естественный уровень грунтовых вод; *2* — кривая депрессии; *3* — линия равного напора

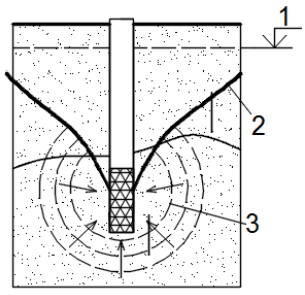


Рис. 3. Схемы притока грунтовых вод (вертикальный дренаж): *1* — естественный уровень грунтовых вод; *2* — кривая депрессии; *3* — линия равного напора

Вертикальный дренаж наиболее эффективно работает при достаточно высокой проницаемости грунтов. Если грунты имеют исключительно высокие фильтрационные свойства, то целесообразно применять скважины большого диаметра [5].

Часто в условиях городской застройки прибегают к проектированию не одной, а нескольких систем дренажа в пределах защищаемой территории.

[3]Там же.

Сочетание тех или иных систем предопределяется не только гидрогеологическими условиями и различной нормой осушения отдельных площадок, но и особенностями планировочного решения застройки, которое ограничивает возможность оптимального для водопонижения размещения трассы дренажа.

Дренажи, применяемые в практике промышленного и городского строительства, представляют собой сочетание дренажных труб с рыхлыми фильтрующими обсыпками или обертками из минеральных волокнистых материалов [17, 18].

В качестве дренажных труб можно применять керамические, пластмассовые, бетонные и железобетонные трубы, трубофильтры из пористого бетона и полимербетона.

В тех случаях, когда системы дренажей, рассчитанные на общее понижение уровней грунтовых вод, не могут дать требуемого эффекта и их устройство нецелесообразно, отдельные сооружения или их небольшие группы необходимо защищать с помощью локальных дренажных устройств. Глубина закладки труб зависит от технического расчета. Он не должен располагаться выше подошвы основания здания. Оптимальное расстояние от внешней стороны фундамента до дренажной трубы составляет 5—15 м [17—20].

Систему дренажа выбирают в зависимости от характера защищаемого объекта и гидрогеологических условий. При проектировании в Волгоградской области новых кварталов и микрорайонов на территориях с высоким уровнем подземных вод должна быть разработана общая схема дренажей. В состав схемы дренажей входят системы дренажей, обеспечивающие общее понижение уровня подземных вод на территории квартала (микрорайона), и местные дренажи для защиты от подтопления подземными водами отдельных сооружений.

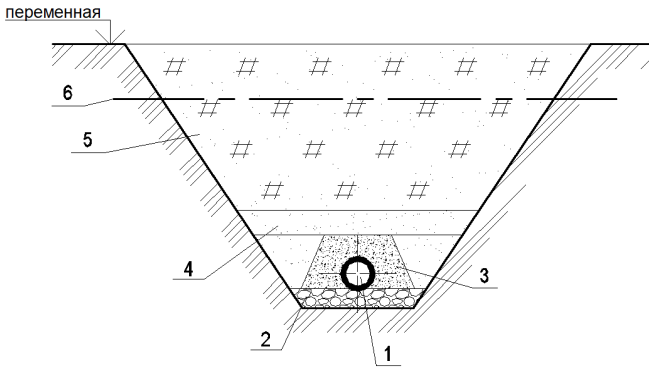


Рис. 4. Конструкция трубчатого дренажа в траншее с откосами: *1* — дренажная труба с оберткой геотекстилем; *2* — щебеночная подготовка, $H = 0{,}2$—$0{,}3$ м, гранулометрический состав 40/70 мм; *3* — рыхлый гравийный фильтр; *4* — засыпка песком; *5* — засыпка местным грунтом; *6* — непониженный уровень грунтовых вод

При расположении дренажа в песках гравелистых, крупных и средней крупности (при среднем диаметре частиц 0,3—0,4 мм и крупнее) устраивают однослойные обсыпки из гравия или щебня. При расположении дренажа в песках средней крупности со средним диаметром частиц, меньшим 0,3—0,4 мм, а также в мелких и пылеватых песках, супесях и при слоистом строе-

нии водоносного пласта устраивают двухслойные обсыпки. Внутренний слой обсыпки устраивают из щебня, а внешний — из песка [18].

Для того чтобы дренирующая засыпка не заиливалась (грязь и ил заполняют пустоты между камнями засыпки) и не теряла своих свойств со временем, необходимо отделить ее от грунтового массива геотекстильным материалом: в траншею сначала укладывают геотекстиль, а потом засыпают щебень, после этого края геотекстиля заворачивают сверху. Также перфорированную трубу заворачивают в геотекстиль для предотвращения засорения отверстий. Отверстия и шаг отверстий перфорации подлежат расчету [18].

Такие фильтры можно применять в нейтральных, слабокислых и слабощелочных грунтовых водах (pH от 4—9) с суммарным содержанием солей до 50 г/л. Материал, из которого сделана оплетка, защищает систему от попадания внутрь крупных частиц грунта, благодаря чему обеспечивается длительный срок эксплуатации без очистки. Гладкая внутренняя поверхность дренажной трубы имеет малое сцепление с частицами песка и грунта, попавшими внутрь, поэтому они легко выводятся наружу вместе с грунтовыми водами. После обмотки труб геотекстиль закрепляют на трубах техническим шпагатом.

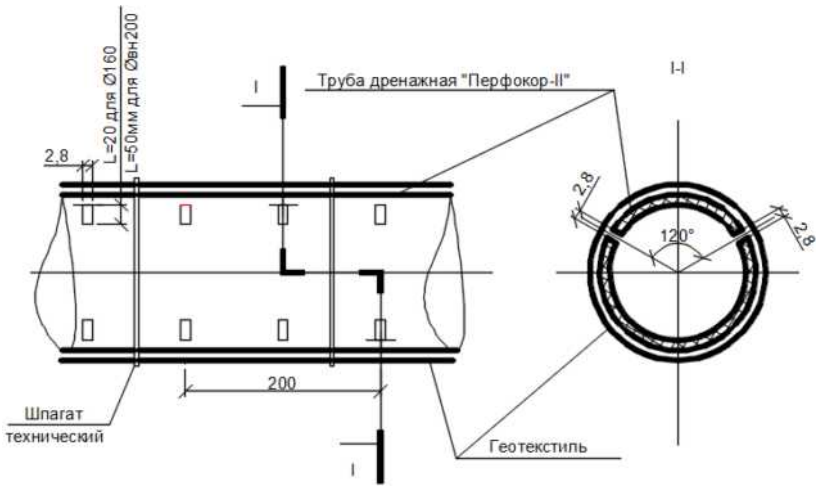


Рис. 5. Дренажная труба «Перфокор-II», обернутая геотекстилем AVTEX пл. 200 г/м^2. Указанный тип дренажной трубы был применен при строительстве ТК «Лента» в г. Волгограде

При строительстве в г. Волгограде торгового комплекса «Лента», расположенного по адресу: пр-т Университетский, 1, были проведены геологические, геоморфологические изыскания, а также исследование гидрогеологического строения исследуемого участка, выявление опасных инженерно-геологических явлений.

В состав выполненных работ входили: бурение скважин, полевое испытание грунтов статическим зондированием, геофизические исследования, комплекс лабораторных определений физико-механических свойств грунтов. Все выработки данных инженерно-геологических изысканий, расположенные в пределах контуров проектируемых зданий и сооружений, использованы для построения разрезов, а лабораторные исследования — для характеристики

прочностных и деформационных свойств грунтов. По материалам этих изысканий, геологический разрез исследуемой территории до глубины 25,0 м сложен современными техногенными суглинистыми грунтами и делювиальными суглинками, верхнечетвертичными овражными отложениями, представленными мелкими песками, глинами и суглинками просадочными (I тип грунтовых условий по просадочности).

Ручей балки Ельшанка протекает в 40 м западнее площадки проектируемого строительства по металлическим трубам диаметром 1200 мм; сток его на всем протяжении зарегулирован многочисленными дамбами. Вблизи площадки проектируемого строительства (70 м) балка перекрыта автодорожной дамбой, соединяющей Ворошиловский и Советский районы города. Ширина балки у автодорожной насыпи составляет 330 м, по дну — 30—35 м. В дамбе автодороги 2-й Продольной магистрали проложен железобетонный водопропуск прямоугольного сечения 3000 мм [7, 8, 10].

В летне-осенний период сток на балке отсутствует, незначительное повышение уровня происходит в период летне-осенних дождей. Максимальный подъем уровня воды с учетом гидротехнических сооружений, расположенных выше и ниже по течению, составляет 0,4—0,6 м.

Гидрогеологические условия исследуемой территории обусловлены развитием водоносного горизонта в четвертичных и палеогеновых отложениях. Водовмещающими грунтами служат суглинки, песчано-алевритовые породы. Установившийся уровень подземных вод (УПВ) по состоянию на июнь 2015 г. отмечен на глубине от 0,4 до 11,0 м (отметки 61,80—49,60 м) с уклоном в северо-восточном направлении, в сторону р. Ельшанки. Площадка частично подтоплена. Приведенный уровень подземных вод не является постоянным и подвержен сезонным колебаниям с амплитудой до 1,0—1,5 м. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации в грунт атмосферных осадков, утечек из водонесущих коммуникаций, а также за счет подтока воды со стороны водораздела. Разгрузка происходит в сторону балки Ельшанки [7, 8].

Большая часть площадки проектируемого сооружения ТК «Лента» относится к типу II-Б1 — потенциально подтопляемому в результате техногенного воздействия.

На участках, постоянно подтопленных и сезонно подтапливаемых, при проектировании были предусмотрены водозащитные мероприятия.

Также был выполнен проект будущей сети дренажа (рис. 6) — это позволяет оценить затраты на конструкцию, просчитать по схеме общую длину труб, расположенных на участке.

Были выдержаны нормативные и расчетные расстояния между дренами и строениями, сооружениями и канализацией, водопроводом — это позволило избежать проблемы водоснабжения здания при аварийной ситуации с дренажом. Наличие эскизной части дренажного проекта позволяет не только оценить стоимость материалов, но и заранее спрогнозировать затраты на земляные работы, покупку щебня и песка, а также оценить объем вывозимого грунта.

Также при проектировании объекта «Комплекс многоэтажных жилых домов в Центральном районе по пр. им. Ленина. Застройка квартала 61а г. Волгограда» в ходе инженерно-геологичеких изысканий выявлена необходимость устройства системы дренажа для защиты фундамента жилого дома № 1 по генплану (рис. 7).

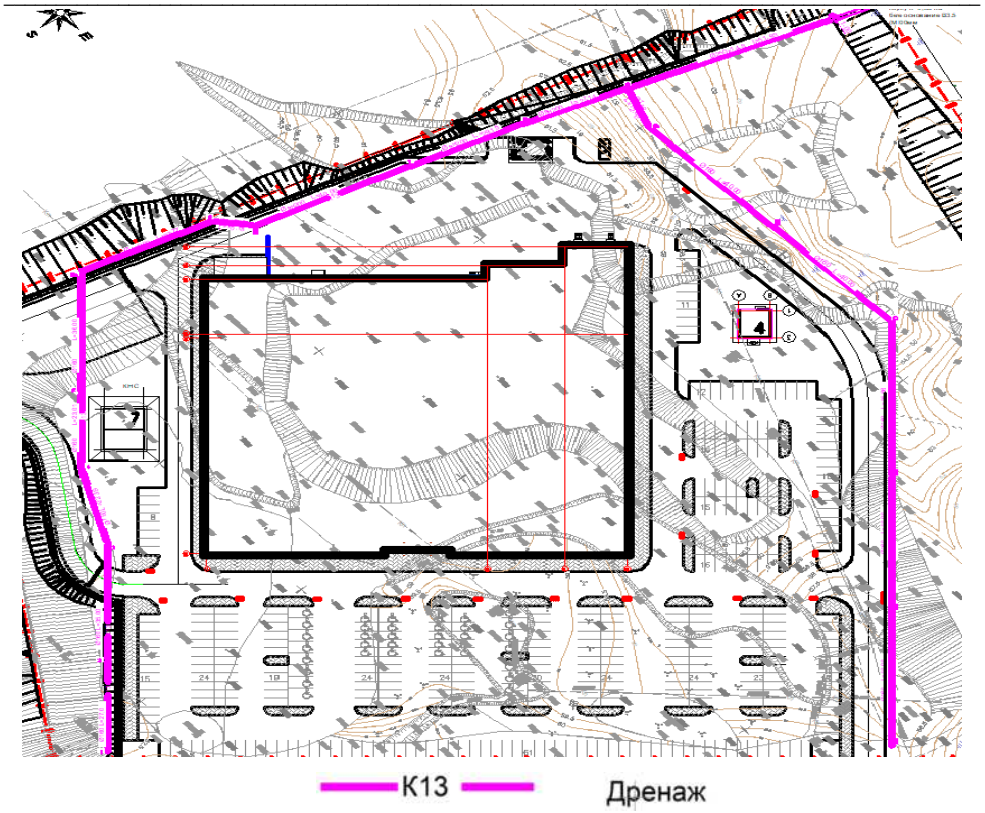


Рис. 6. Торговый комплекс «Лента», г. Волгоград, проект локального защитного дренажа

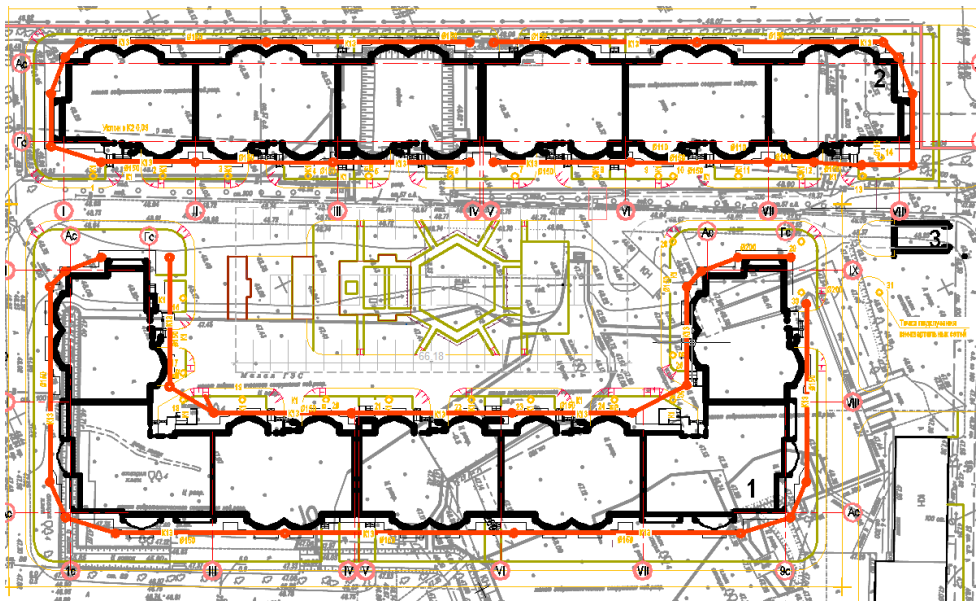


Рис. 7. «Комплекс многоэтажных жилых домов в Центральном районе по пр. им. Ленина. Застройка квартала 61а г. Волгограда», проект кольцевого дренажа

При выполнении работ были изучены геологическое строение и особенности территории.

По результатам исследований подземные воды вскрыты на глубинах 13,40—13,60 м (абс. отм. 31,00—31,90 м). Воды безнапорные. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации в грунт атмосферных осадков, утечек из водонесущих коммуникаций, а также за счет подтока воды со стороны Приволжской возвышенности. Разгрузка водоносного горизонта происходит в Волгу.

В ходе строительства было обнаружено агрессивное воздействие грунтовых вод на бетонные и железобетонные конструкции. Содержание в грунтах, грунтовых и других водах минеральных солей, органических веществ и газов является основным критерием при оценке их коррозионной активности по отношению к подземным металлическим сооружениям. Подземной коррозии подвержены главным образом металлические трубопроводы, подземные резервуары и др. [14].

Наибольшее влияние на условия эксплуатации и срок службы подземных металлических сооружений оказывает коррозионная и биокоррозионная агрессивность окружающей среды. Единственно возможным способом борьбы с этим негативным явлением является своевременное выявление воздействий грунтов и грунтовых растворов на металлические конструкции и применение мер по противокоррозионной защите стальных подземных сооружений, а также использование кольцевых дренажных систем [15].

Степень агрессивного воздействия грунтовых вод на бетонные и железобетонные конструкции приведена в табл. 1.

Таблица 1

Показатели агрессивного воздействия грунтовых вод на бетонные и железобетонные конструкции

Показатель агрессивности	Степень агрессивного воздействия на бетон		
	W4	W6	W8
HCO_3, (мг-экв)/л	Слабоагрессивная	—	—
pH	Слабоагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
CO_2, агр. мг/л	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная	—
Mg^{2+}, мг/л	Неагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
NH_4, мг/л	Неагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
$Na^{++}K^{+}$, г/л	Неагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
Общее содержание солей, г/л	Неагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
SO_4^{2-}, мг/л	Сильноагрессивная	Слабоагрессивная	Неагрессивная
Cl^{-}, мг/л	При периодическом смачивании среднеагрессивная для арматуры железобетонных конструкций		

В процессе эксплуатации проектируемого сооружения возможно формирование техногенного водоносного горизонта типа «верховодка» выше отметки заложения фундамента в условиях распространения слабопроницаемых грунтов (глин толщиной слоя до 2,0 м в интервале глубин 1,80—3,90,

абсол. отм. 43,19—41,20) при аварийных утечках из водонесущих коммуникаций на исследуемой и прилегающей территории в результате ее застройки.

Учитывая наличие на глубине 1,80—2,50 м прослоя глин толщиной до 2 м и прогнозируемое формирование под ними техногенного водоносного горизонта, участок проектируемого строительства жилого дома согласно[4] [4, 5] относится ко II области (потенциально подтопляемые, по условиям развития процесса — к району II-Б2, потенциально подтопляемому в результате техногенных аварий и катастроф).

В ходе строительства жилого дома № 1 (по генплану) было реализовано устройство кольцевого пристеночного дренажа из асбестоцементных безнапорных труб Ø150 мм с пропилами через 0,25 м. Дренаж выполнен по всему периметру дома на 0,7 м от самых выступающих частей ростверка. Дренажные трубопроводы укладываются с уклоном 0,003 и установкой колодцев на каждом повороте и через каждые 40,0 м на прямых участках. Дренаж укладывается не выше чем на 0,30 м ниже ростверка (в свету). Подключение дренажа осуществляется в дождевую канализацию выпусками Ø200 мм.

В настоящее время все активнее осваиваются территории с высоким уровнем грунтовых вод в Дзержинском, Советском и Кировском районах г. Волгограда. Процесс подтопления территорий затрудняет строительство, нарушает нормальную эксплуатацию зданий и сооружений, приносит существенный ущерб. Проблема подтопления застроенных территорий, так остро вставшая в последнее время, является частью более общей проблемы — выявления и оценки закономерностей формирования водного режима на застроенных территориях.

Правильное устройство дренажной системы водоотведения обеспечит на территории участка оптимальные условия для проживания, кроме того, позволит защитить здания и сооружения от воздействия грунтовых вод и обеспечит комфортное проживание людей в городской среде. Особенно актуален вопрос устройства дренажа в Волгоградской области вблизи водоемов и на участках с неглубоким залеганием грунтовых вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамов С. К.* Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М.: Стройиздат, 1973. 47 с.

2. *Симагин В. Г., Ратькова Е. И.* Дренажи. Проектирование и устройство горизонтальных трубчатых дренажей. Петрозаводск, 2002. 240 с.

3. *Симагин В. Г.* Защита подземной части зданий и сооружений от воздействия грунтовых вод. Петрозаводск, 1983. 67 с.

4. Детали дренажей и городских дорог. Петрозаводск, 1992.

5. *Самусь Н. А., Игнатенко О. Н., Самусь А. Н.* Техногенное подтопление территории Волгоградской агломерации и тенденции его развития в последние годы // Поволжский экологический вестник. Вып. 11. Волгоград, 2005. С. 293—298.

6. *Бондаренко В. И.* Обводнение грунтов на застроенной территории // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 105—117.

7. *Брылев В. А., Самусь Н. А.* Антропогенные изменения геолого-геоморфологической обстановки на территории г. Волгограда // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. Волгоград, 1976. С. 33—42.

[4]Там же.

8. *Кавеев Т. С.* О некоторых случаях обводнения в зоне аэрации // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 118—127.

9. *Шубин М. А., Шубин А. М*. Исследование процесса подтопления застроенных территорий и разработка защитных мероприятий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2010. Вып. 17(36). С. 142—147.

10. *Шубин М. А., Юшин О. В.* Мониторинг экологической безопасности прибрежных городских территорий Волгоградского водохранилища // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44-1 (63). С. 119—129.

11. *Шубин М. А*. Воздействие инженерных мероприятий на подземные воды в Нижнем Поволжье // Воздействие хозяйственной деятельности на геосреду Нижнего Поволжья : тр. Межрегион. конф. Волгоград, 1984. С. 78—81.

12. *Кузнецова С. В., Махова С. И., Степанова Е. А., Махов И. Д.* Анализ проблем инженерно-геологических изысканий на территории г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. № 3 (76). С. 32—39.

13. *Арефьева Е. В., Мухин В. И., Мирмович Э. Г.* Подтопление как потенциальный источник ЧС // Технологии гражданской безопасности. 2007. № 4. С. 69—73.

14. *Оленьков В. Д., Шукутина Е. В.* Природные циклы подтопления территорий и учет их в градостроительном планировании // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2007. № 22(94). С. 60—63.

15. Методические подходы к оценке степени дренированности урбанизированных территорий / В. Д. Покровский, Е. М. Дутова, А. Н. Никитенков, К. И. Кузеванов, Д. С. Покровский // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2.

16. О формировании водного стока на осваиваемых территориях / А. Я. Гаев, В. Э. Бикитеев, И. В. Куделина, Т. В. Леонтьева, Л. А. Кременцова // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 2. С. 33—40.

17. *Пономарев А. Б., Калошина С. В., Салимгариева Н. И.* Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 1. С. 67—70.

18. *Зарубина Л. П.* Гидроизоляция конструкций, зданий и сооружений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

19. *Тимофеев С. В.* Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных природных и природно-техногенных процессов // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 10.

20. *Корякин Д. А.* Геосинтетические дренажные маты «Славрос» // Строительные материалы. 2005. № 3. С. 34—35.

© Шевцова И. М., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Быканов И. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве (на примере г. Волгограда) / И. М. Шевцова, Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, И. В. Быканов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 73—85.

Об авторах:

Шевцова Ирина Михайловна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Игнаткина Дарья Олеговна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Быканов Иван Владимирович — главный инженер, ООО «СтройинкомИнжиниринг». Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Грушевская, 8, офис 1021

Irina M. Shevtsova[a], Dar'ya O. Ignatkina[a], Elena V. Moskvicheva[a], Ivan V. Bykanov[b]

[a] Volgograd State Technical University

[b] StroyinkomEngineering LLC

PREVENTION OF GROUND WATER FLOODING OF TERRITORIES DURING CONSTRUCTION (FOR EXAMPLE, VOLGOGRAD)

Engineering development of territories, i. e. its preparation for construction (vertical planning, development of ditches and trenches, laying of communications, etc.), the construction itself and the further operation of individual buildings, lead to a violation of the previously established dynamic balance in the water balance of this territory. As a result, there is an intense rise in the water table. The authors consider the problem of flooding of underground parts of individual buildings and structures, as well as the device of drainage drains. This article presents measures to prevent flooding by groundwater in various districts of Volgograd.

K e y w o r d s: drainage systems, ground water flooding, local drainage, ring drainage, tubular drainage.

For citation:

Shevtsova I. M., Ignatkina D. O., Moskvicheva E. V., Bykanov I. V. [Prevention of ground water flooding of territories during construction (for example, Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 73—85.

About authors:

Irina M. Shevtsova — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Dar'ya O. Ignatkina — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Ivan V. Bykanov — Chief Engineer, StroyinkomEngineering LLC. 8, Grushevskaya st., Volgograd, Russian Federation

УДК 528.9

В. Н. Анопин, С. И. Махова, Т. А. Сабитова, Е. А. Степанова, О. И. Карпова

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ВОЛГОГРАДА С СУЩЕСТВУЮЩИМИ И ПРОЕКТИРУЕМЫМИ ЗЕЛЕНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ

Приведены материалы, свидетельствующие о необходимости разработки технологий комплексного картографирования сильно различающихся условий роста и развития зеленых насаждений Волгограда. Изложены оптимальные методы выполнения картографирования территорий с существующими и проектируемыми зелеными насаждениями с использованием геоинформационных технологий. Представлено обоснование применения при картографических работах конкретных полевых и камеральных методов топографического дешифрирования снимков городской территории.

Ключевые слова: зеленое строительство, картографирование, технологии геоинформационных систем (ГИС-технологии), урболандшафты, топографические и тематические карты, аэрофотосъемки, космические снимки, дешифрирование.

Площадь зеленых насаждений г. Волгограда значительно меньше узаконенных нормативных показателей. Кроме того, значительная часть считающихся озелененными территорий представляет собой площади с хаотично разбросанными куртинами деревьев и кустарников, с отсутствующими элементами благоустройства и рекомендованной садово-парковой инфраструктуры. Эти зеленые насаждения не только не соответствуют требованиям ландшафтной архитектуры, но обычно имеют неудовлетворительное состояние и практически не используются рекреантами.

При этом вследствие малоблагоприятных для древесной растительности климатических условий, значительного разнообразия геоморфологического, геологического и гидрологического строения различных земельных участков, их почвенного покрова, особенностей застройки, расположения дорог эффективное зеленое строительство на большей части городской территории является весьма сложной задачей.

Необходим тщательный учет рельефа местности (от равнинных участков до крутосклонов), характера подстилающих и почвообразующих горных пород и грунтов (от песчаных до глинистых), глубины залегания грунтовых вод (от 0,5 до десятков метров), а в отдельных местах — верховодки, типа почв, их плодородия, солонцеватости, деградированности и т. д.

Для составления проектов научно обоснованного зеленого строительства необходим картографический материал, содержащий эти виды информации. Имеющиеся геологические, почвенные, геоботанические и другие тематические карты — однонаправленные. Не являются универсальными и крупномасштабные топографические карты. Необходимо составление комплексных карт еще более крупного масштаба, отображающих все виды данных, обеспечивающих всесторонний учет природно-технических показателей городской среды.

Проведение исследований в области картографирования урбанизированных ландшафтов имеет сложности, обусловленные большой разнородностью информации, в том числе аэрокосмической, необходимостью изучения и ис-

пользования экологических и социально-экономических факторов, которые представлены преимущественно в виде качественных характеристик, отсутствием методик проведения в урбанизированных условиях комплексной оценки экологических факторов и процессов, проблематичностью выполнения наложения этих факторов друг на друга в пространственно-временной динамике и тем самым трудоемкостью построения оценочно-прогнозных моделей [1].

Для максимально возможного преодоления изложенных трудностей применяют геоинформационные системы (ГИС), использующие современные электронные средства обработки информации [2].

Геоинформационные технологии (ГИС-технологии) позволяют интегрировать картографо-аэрокосмический мониторинг, методы математического моделирования и компьютерного картографирования в единый процесс, обеспечивающий проведение исследований на высоком качественно новом уровне [3]. Они базируются на разработках современного интегрального научно-технического комплекса — геоинформатики.

Взаимосвязи картографии и геоинформатики обусловлены следующими аспектами:

а) топографические и тематические карты являются главным источником пространственной информации;

б) системы географических и прямоугольных координат, а также картографическая разграфка служат основой для координатной привязки всей информации, поступающей и хранящейся в ГИС;

в) карты служат основным средством географической интерпретации и организации данных дистанционного зондирования и другой информации, используемой в ГИС;

г) картографический анализ является одним один из наиболее эффективных способов выявления географических закономерностей, связей, зависимостей при формировании баз знаний, входящих в ГИС;

д) математико-картографическое компьютерное моделирование — главное средство, используемое в процессе принятия решений, управления проведением экспертиз, составления прогнозов развития геосистем;

е) картографическое изображение — наиболее целесообразная форма представления информации [4, 5].

Геоинформационное картографирование включает разработки и достижения дистанционного зондирования, космического картографирования, картографического метода исследований и математико-картографического моделирования. Обработка информации в процессе его выполнения производится на основе системы математических моделей. В настоящее время наибольшее распространение получили три разновидности моделей: модели, разработанные без учета пространственного координирования явлений, модели с картографированием результатов, но без учета пространственного аспекта на этапе реализации математических алгоритмов, модели пространственного учета явлений, со сложной реализацией математических расчетов [6, 7].

Перспективным направлением геоинформационного картографирования является разработка моделей пространства статистики основания на выявлении закономерностей при массовом проявлении определенных факторов, картографируемого «статистического рельефа» распределения признака [8, 9].

В большинстве ГИС в качестве одного из основных элементов выступает блок визуализации данных, где важную роль занимают картографические и графические построения. Являясь элементом интерфейса пользователя и средством документирования итоговых результатов, картографический модуль ГИС обеспечивает картографическое представление исходных производных или результативных данных в виде цифровых, компьютерных и электронных карт.

В последние годы ГИС широко применяются в проектных организациях, выполняющих исследования и планирование методов землепользования, благоустройства городских территорий, а также природоохранной деятельности и др. [1, 10, 11].

Материалы аэрофотосъемки используются в основном для создания топографических и различных тематических карт. В мелиоративном и рекультационном картографировании применяются черно-белые аэрофотоснимки (АФС), изначально предназначенные для землеустройства и выполнения кадастровых работ. Отмечается высокая информативность и пригодность аэрофотоматериалов [12, 13]. Целесообразный масштаб снимков — 1:10 000, 1:5000. Период выполнения съемки — весенне-летне-осенний.

Начиная с 1960-х гг. поступают материалы космической съемки. К настоящему времени их фонд исчисляется десятками миллионов [14, 15].

Существуют две технологии космических съемок: съемки с фотографических и со сканерных систем. Наиболее широкое применение находят снимки, выполненные в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Поступающие с орбитальных станций и автоматических спутников фотографические материалы отличаются высоким качеством изображения. Они характеризуются разрешением на местности в десятки, а зачастую даже единицы метров и обеспечивают возможность стереоскопического изучения объектов.

Однако высокое качество фотоизображения достигается только при практическом отсутствии над фотографируемым участком облачности. Поэтому не всегда обеспечивается возможность получения качественных повторных снимков одной и той же территории. Кроме того, из-за эпизодичности съемок и некоторых других причин регулярное покрытие территории материалами фотографической съемки достигается не всегда. В результате возрастает применение материалов съемки высокого разрешения других типов — телевизионной и сканерной, сделанных с ресурсных спутников. На цветных синтезированных сканерных снимках хорошего качества отчетливо выделяются те же объекты, что и на фотографических, но при этом обеспечивается возможность регулярного повторения съемки и удобство автоматизированного ввода в базы данных материалов, поступающих в цифровом виде.

Таким образом, в настоящее время достижим большой эффект использования компьютерных технологий в научных исследованиях и практической хозяйственной деятельности, в том числе в градостроительстве и благоустройстве городских территорий. Однако применение геоинформационных технологий при выполнении работ зеленого строительства с соблюдением требований ландшафтной архитектуры требует дальнейшей разработки, детализации и комплексного использования имеющихся материалов, особенно при картографировании условий роста зеленых насаждений и ландшафтном планировании рекультивационных мероприятий.

Успешная реализация задач оптимизации зеленого строительства возможна только при тщательном анализе геоэкологических ситуаций в урболандшафтах, которые определяются особенностями преобразований процессов на территориях, занятых промышленными предприятиями, селитьбой и различными линейными инженерными сооружениями.

К настоящему времени выполнены важные фундаментальные разработки в области геоэкологии [16—22], обеспечивающие возможность существенного повышения эффективности мероприятий по преобразованию окружающей среды в нужном направлении. Ландшафтно-картографический подход на основе аэрокосмической фотосъемки (АКФ) в сочетании с геоинформационными технологиями становится важнейшим методологическим и методическим приемом, позволяющим не только отслеживать характер и динамику изменения природных процессов в урболандшафтах, но и разрабатывать систему мероприятий воздействия на них в нужном направлении.

Для решения возникающих проблем необходимо уточнение подходов к решению следующих программных вопросов:

1) разработка основ ландшафтно-картографического подхода к планированию зеленого строительства;

2) разработка концепции и технологии применения картографо-аэрокосмического мониторинга изменения хода процессов в урбанизированных ландшафтах;

3) разработка методики качественной и количественной оценки природно-техногенных процессов на основе дистанционных индикаторов и биотических критериев деградации земель;

4) разработка интегральной шкалы оценки степени преобразованности почв на основе логистического подхода;

5) разработка и составление ландшафтно-типологических карт на основе АКФ для целей зеленого строительства;

6) изучение и картографирование структуры и распределения отрицательных форм мезо- и микрорельефа ландшафтов как наиболее благоприятных участков земельного фонда для зеленого строительства.

По нашей оценке, целесообразно использование предложенной Б. В. Виноградовым [23] и в дальнейшем усовершенствованной К. Н. Куликом [24], В. Г. Юферевым и др. [25] технологии комбинированного картографирования, включающей как полевые исследования на ключевых участках, так и камеральный анализ результатов дистанционного обследования территорий.

Выполненным нами анализом подтверждено, что наиболее эффективной схемой комбинированного картографирования на основе АКФ является пятиэтапная технология работ, включающая в себя: предварительное дешифрирование, полевое эталонирование, экстраполяцию, тщательный полевой контроль и окончательное дешифрирование и картографирование.

При проведении исследований приоритетным направлением должен быть визуально-инструментальный и компьютерный анализ КФС, так как на них отражаются не только физиономичные компоненты урболандшафтов или виды располагающихся на них различных объектов городского хозяйства, но и геосистемы в целом.

Для исследования состояния урболадшафтов необходимо уточнение ряда вопросов теории и практики ландшафтного дешифрирования. Актуальность этого направления исследований обусловлена исключительно большим разнообразием складывающихся природных условий различных участков городской территории. Значимость его особенно возросла, когда наряду с топографическим появились специальные виды дешифрирования (геоэкологическое, геоморфологическое, геоботаническое, почвенное и др.), основывающиеся на выявлении зависимости между свойствами объекта и характером его изображения на снимках. Эффективность всех видов дешифрирования в первую очередь зависит от полноты имеющейся информации о ландшафтах исследуемой территории.

Распознавание объектов при дешифрировании определяется законами зрительного восприятия зафиксированного на снимке изображения, а также особенностями фотографического воспроизведения оптических и геометрических свойств ландшафтов. Общие вопросы теории и практики дешифрирования освещены в многочисленных литературных источниках [26—30].

Ландшафтное дешифрирование включает следующие этапы: предварительный, топографический и собственно ландшафтный.

На предварительном этапе, используя имеющиеся источники информации, выявляется общая картина ландшафтной дифференциации территории зеленого строительства и составляется предварительная классификация ландшафтов.

В результате топографического дешифрирования элементов снимков методами фотограмметрии достигается ориентация и привязка ландшафтных объектов к пунктам государственной опорной геодезической сети и получение информации об их общей физико-географической характеристике.

В фотограмметрии положение точек объекта определяют в пространственной правой прямоугольной системе координат *XYZ*. Ее обычно устанавливают в пространстве так, чтобы математическая зависимость между координатами точек на местности и снимке имела наиболее простой вид. Начало координат может быть произвольным. В частных случаях его совмещают с точкой с известными координатами или с центром проектирования. Для определения положения плановых координат начало координат *0′* располагают в пересечении линий, соединяющих противоположные координатные метки снимка, ось *x* совпадает с линией направления движения съемочного прибора, ось *y* проходит перпендикулярно к оси *x* [25].

Благодаря топографическому дешифрированию выявляются главные черты благоустраиваемой городской территории: морфоструктурные особенности строения поверхности и ее характер и особенности застройки, степень расчленения, дренированности или обводненности, наличие древесной, кустарниковой и других видов растительности [31].

В основу ландшафтного дешифрирования входит выявление морфологической структуры ландшафта. Ландшафт как объект дешифрирования представляет сложный природно-территориальный комплекс, занимающий конкретную территорию. Он представляется свойственной ему системой местностей-доминантов, закономерно чередующихся на всем его пространстве [32].

Собственно ландшафтное дешифрирование заключается в выявлении и обособлении основных единиц картографирования: вида ландшафта и типа местности. Особенности привлекаемых для создания ландшафтной карты космических материалов

требуют разработки особого методического приема в дешифрировании снимков. Исходя из того что космические фотоснимки интегрально отражают морфологическую структуру ландшафтов, которая воспринимается как сочетание местностей-доминантов, основной упор следует делать на использование комплексных дешифровочных признаков местностей-доминантов.

Ландшафтное дешифрирование космических фотоснимков природных геосистем ранга «ландшафт — местность», сопряженное с анализом топографических и тематических карт, позволяет осуществлять классификацию и картографирование ландшафтов города и включать занятые различными типами местностей площади. На участках со значительной пестротой растительных условий целесообразно дифференциальное проведение ландшафтного картографирования геосистем ранга «урочище — фация».

Распознаваемость объектов дешифрирования определяется отражательной способностью поверхности снимаемой территории. Величина отраженного света зависит от многих причин: характеристик самих объектов, расстояния до точки, с которой проводилось фотографирование, взаимного положения солнца и фотоаппарата и др. [33]. Отражательная способность не является одинаковой для различных лучей солнечного спектра. Это следует использовать при дешифрировании территории с большим набором подлежащих отображению объектов. Кроме того, некоторые объекты или их части, плохо фиксирующиеся в видимой зоне спектра, могут контрастно регистрироваться в невидимом инфракрасном диапазоне.

Геосистемы ранга «фация» ландшафтов региона расположения Волгограда характеризуются высокой яркостью, имеющей максимум спектральной прямой в зеленой зоне [34 и др.]. Однако отдельное исследование при крупномасштабном картографировании каждой фации чрезвычайно трудоемко вследствие большого их количества даже в пределах одного вида урочищ. Объединение сходных или близких по происхождению и биоценозу фаций в группы и типы позволяет выделять участки с различными видами существующих или проектируемых зеленых насаждений.

Каждому типу ландшафта соответствует определенная структура урочищ, находящая на аэрофотоснимках отражение в определенном типе рисунка и текстуре фотоизображения. В структуре урболандшафтов следует выделять одно определенное господствующее урочище, образующее общий фон, — урочище-доминант. На фоне доминанта в ландшафте достаточно часто наблюдается ряд второстепенных небольших по площади урочищ, занимающих, как правило, не более 20—30 %. На снимках такие ландшафты отображаются одним тоном с разбросанными по нему пятнами другой тональности. Общий фон — это доминант, имеющиеся пятна — второстепенные урочища. В степных условиях Волгограда, где среднегодовое количество осадков составляет 350 мм, урочищами-доминантами, как правило, являются урочища плоского водораздела или урочища склонов, наиболее адекватные местным геоморфологическим и мезоклиматическим условиям. Урочища-субдоминанты, или второстепенные урочища, проявляются в резко отличающихся условиях увлажнения и геолого-геоморфологической обстановки.

Ландшафты заканальной части города характеризуются относительно более сложной комплексностью структуры. В их составе могут участвовать несколько различных типов урочищ, занимающих близкие по величине пло-

щади и в сильной степени влияющих на развитие друг друга. В целом они образуют достаточно сложную мозаику генетически взаимосвязанных урочищ. В условиях непромывного водного режима сильнейшее влияние на структуру ландшафта оказывает процесс неравномерного перераспределения влаги, а вместе с ним и солей в почвогрунтах. Эта комплексность ландшафтов на аэрофотоснимках находит четкое отражение.

Важнейшим этапом аэрокосмического картографирования является полевое эталонирование снимков на ключевых участках, закладываемых в пределах изучаемых полигонов [25]. В таксономическом отношении они представляют собой хорошо различимые на фотоизображениях урочища или группы фаций, которые можно характеризовать и экстраполировать на всю площадь полигона. Масштаб картографирования должен быть не менее 1:10 000.

Для полевого дешифрирования аэро- и космических фотоснимков целесообразен метод комплексного, или ландшафтного, профилирования ключевых участков. Профиль должен охватывать все типы урочищ. Число закладываемых профилей определяется сложностью ландшафта. Линии профилей предварительно намечаются на снимках, затем уточняются на местности. Выполняют инструментальную разбивку и нивелирование линий хода, вычерчивают профили линий в нужных направлениях. На каждом выделенном на снимке контуре выявляют формы рельефа, литологический состав поверхностных отложений, почвенно-растительные условия, увлажнение и характер современных экзогенных процессов, изменяющих ландшафт. Особое внимание обращается на результаты техногенных воздействий, вызывающих быстродинамичные процессы естественной деградации земель.

В пределах ландшафтного профиля в каждом подурочище выполняют описание компонентов ландшафта по программам полевых исследований [35]. Основная информация о картографируемых урочищах и фациях регистрируется в специальных бланках.

Экстраполяция, включающая операции по дешифрированию необследованных в натуре территорий, по выработанным на ключевых участках признакам в городских условиях, по нашему мнению, может проводиться ограниченно только на участках с явно выраженными одинаковыми природно-техногенными условиями. Обязательным должен быть тщательный полевой контроль, представляющий оценку достоверности и детальности дешифрирования.

Окончательное дешифрирование и картографирование включают все операции, предусмотренные соответствующими программами камеральной обработки материала, составления карт заданного масштаба и тематики [36].

Изложенные методы использования современных технологий электронного и компьютерного картографирования урбанизированных территорий высоко эффективны. Они становятся основными инструментами в тематической картографии. Для создания карт условий роста и состояния зеленых насаждений в наибольшей степени подходит изолинейный способ картографирования, нашедший широкое применение при изображении рельефа земной поверхности, территориального распределения осадков, температур и т. д. [37]. Он основан на выявлении распределения по земной поверхности определенной количественной оценки, каждая точка которой характеризуется

конкретным показателем (скаляр). Скаляры могут отражать морфометрические параметры объектов или показатели скорости процессов техногенных изменений их состояния. Если показатели изменяются от точки к точке, то они могут быть охарактеризованы пространственным, а при изменении и на различных участках территории и во времени — пространственно-временным полем [2].

В рамках концепции обустройства городских территорий методами зеленого строительства на основе интеграции достижений аэрокосмического мониторинга и компьютерного картографирования целесообразно использование методологии картографо-аэрокосмического мониторинга деградированных земель [1]. При применении этого подхода предполагается обязательное составление математико-картографических моделей урболандшафтов в трех пространственно-временных срезах — естественных, современных техногенно нарушенных и фитомелиорированных — с обязательным прогнозом в перспективе динамики деградационных процессов.

Картографо-аэрокосмический мониторинг урбанизированных ландшафтов должен включать ряд операций:

– сопряженный картографический анализ и диагностика современного состояния урболандшафтов с использованием полевых, дистанционных методов и компьютерного картографирования;

– изучение структуры и состава ландшафтов, природно-техногенных процессов на основе ландшафтно-экологического дешифрирования АКФ;

– разработку критериев оценки техногенной и рекреационной деградации ландшафтов;

– составление геоэкологических (ландшафтно-экологических) карт состояния объектов различных видов городского землепользования;

– разработку и составление ландшафтных проектов противодеградационных озеленительных мероприятий.

Изложенные подходы обеспечивают возможность составления компьютерных математико-картографических моделей аппроксимации пространственных характеристик различных явлений и процессов. Изолинейные карты аппроксимируют за определенный временной интервал целостные континуальные образы естественных природных условий геосистем, динамики техногенной нарушенности урболандшафтов, распределения зеленых насаждений, особенностей их роста и трансформации состояния. Реализация блоков картографо-аэрокосмического мониторинга и математико-картографического моделирования является основой для разработки и составления проектов городского зеленого строительства и планирования мероприятий, обеспечивающих долговечность, хорошее состояние и выполнение функций улучшения городской природной среды зелеными насаждениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анопин В. Н., Рулёв А. С.* Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья. Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. 168 с.

2. *Анопин В. Н., Рулев А. С., Березникова С. Ю.* Использование ГИС-технологий при картографировании урболандшафтов г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. Вып. 26(45). С. 200—204.

3. *Рулёв А. С.* Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.

4. *Берлянт А. М.* Теоретические проблемы картографии. М., 1993. 116 с.

5. *Hosara M.* Modeling jf curber and surfaces in CAD/CAM. Berlin Heidcelberg, 1996.

6. *Жуков В. Т., Сербенюк С. Н., Тикунов В. С.* Математико-картографическое моделирование в географии. М., 1980. 224 с.

7. *Тикунов В. С.* Математизация тематической картаграфии. Владивосток, 1986. 24 с.

8. *Alfeld P.* Scattered data interpolation in there or more variables // Mathematical methods in computer aided geometrie desingn. Boston: Acad Press, 1989. P. 1—33.

9. *Ripley B. D.* 1981. Spatial statistics. John Wiley Sons. 420 p.

10. *Сухих В. И.* Структура и функции геоинформационной системы непрерывного действия // Лесное хозяйство. 1966. № 5. С. 18—24.

11. *Анопин В. Н., Юферев В. Г., Рулев Г. А.* Технология мониторинга состояния полос отвода автомобильных дорог и придорожных территорий с использованием ГИС // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 160—165.

12. *Кулик К. Н.* Аэрокосмические методы исследований аридных ландшафтов // Методы исследований водной эрозии в противоэрозионной лесомелиорации : сб. науч. тр. Волгоград, 1989. Вып. 1(96). С. 43—58.

13. *Сабитова Т. А., Ященко С. Щ., Соболева Е. Д.* Сравнительный анализ традиционных методов построения топографических планов и трехмерного лазерного сканирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.:Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 79—88.

14. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Берлин — М., 1988. Т. 2. 124 с.

15. *Книжников Ю. Ф.* Аэрокосмическое зондирование. М., 1997. 128 с.

16. *Forman R. T. T., Godron M.* Landscape ecology. John Wiley Sons: N. Y., 1986. 619 p.

17. *Schreiber K. F.* What is Landscape Ecology? // Bull. Assoc. Landscape Ecol. 1988. Vol. 4. No. 1. Pp. 8—13.

18. *LaGro J.* Assessing patch shape in landscape mosaic // Photogram. Engineer. Fand Remote Sens.1991. Vol. 57. Pp. 285—293.

19. *O'Nell R. V*., *Krummel J. R., Gardner R. H.* Indices of landscape pattern // Landscapt Ecol. 1988. Vol. I. Pp. 153—162.

20. *Podolsky R. H.* Monitoring biodiversity and landscape richness with digital earth imagery // Int. Arch. Of Photogram And Remote Sen. Sommission VII. Vol. 28. Pt. 7-1. Victoria, 1990. Pp. 42—47.

21. *Romme W. H.* Fire fnd landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone Natiomal Park // Ecol. Monograph. 1982. Vol. 52. Pp. 199—221.

22. *Suffing R.* Control landscape diversity by catastrophic diaturbance: theory and a case study of fire in a Canadian boreal forests // Environ. Manag. 1988. Vol. 12. No. 1. Pp. 73—78.

23. *Виноградов Б. В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., 1984. С. 174—179.

24. *Кулик К. Н.* Агролесомелиоративное картографирование Северо-Западного Прикаспия : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. Волгоград, 1996. 48 с.

25. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / В. Г. Юферев, К. Н. Кулик, А. С. Рулёв, К. Б. Мушаева, А. В. Каменев, З. П. Дорохина, О. Ю. Березовикова. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.

26. *Богомолов Л. А.* Дешифрирование аэроснимков. М., 1976. 145 с.

27. *Гольдман Л. М.* Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съёмке и обновлению планов масштабов 1:2000—1:5000. М., 1980. 240 с.

28. *Foody G. M*. Classification accuracy assessment: some alternatives to the kappa coefficient for nominal fnd ordinal level classifications // Remote sensing from research to operation: procttdings of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society. Nottingham, 1992. Pp. 529—538.

29. *Mathe P. M*. Computer processing of remotele-sensed images: an introduction. New York: Wiley, 2004. 442 p.

30. *Richards J. A*. Remote sensing digitak image analysis. Springer-Verlag, 1986. 340 p.

31. *Анопин В. Н., Рулев А. С.* Особенности выполнения работ зеленого строительства при решении геоэкологических проблем Волгоградской агломерации // Вестник Волгоградского

государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 170—181.

32. *Анопин В. Н., Рулев А. С., Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Картографирование урболандшафтов с применением геоинформационных технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 68—81.

33. *Чиаголев А. А.* Комплексное дешифрирование аэроснимков. М. – Л., 1964. 224 с.

34. *Рачкулик В. И., Ситникова М. В*. Оптические свойства и состояние растительного покрова. Л., 1981. 281 с.

35. Методика полевых физико-географических исследований / под ред. А. М. Архангельского. М., 1972. 302 с.

36. *Виноградов Б. В.* Космические методы изучения природных систем. М., 1976. 286 с.

37. *Анопин В. Н., Рулев А. С., Сабитова Т. А*. Особенности методов ландшафтно-топографических изысканий для лесозащитного обустройства автомобильных дорог Нижнего Поволжья // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 162—170.

© Анопин В. Н., Махова С. И., Сабитова Т. А., Степанова Е. А., Карпова О. И., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности картографирования территорий Волгограда с существующими и проектируемыми зелеными насаждениями / В. Н. Анопин, С. И. Махова, Т. А. Сабитова, Е. А. Степанова, О. И. Карпова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 86—96.

Об авторах:

Анопин Владимир Николаевич — д-р географ. наук, проф., проф. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; AnopinVl.Nik.48@yandex.ru

Махова Светлана Ивановна — канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Сабитова Татьяна Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ta.sabitova@gmail.com

Степанова Екатерина Александровна — доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ekserstepan@bk.ru

Карпова Ольга Ивановна — доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olga.vist@mail.ru

Vladimir N. Anopin, Svetlana I. Makhova, Tat'yana A. Sabitova, Ekaterina A. Stepanova, Olga I. Karpova

Volgograd State Technical University

FEATURES OF MAPPING VOLGOGRAD TERRITORIES WITH EXISTING AND PROJECTED GREEN PLANTS

Materials are presented that indicate the need to develop technologies for integrated mapping of very different conditions for the growth and development of green spaces in Volgograd. The optimal methods for mapping areas with existing and planned green spaces using geoinformation technologies are described. The substantiation of the application of specific field and office methods of topographic interpretation of images of an urban area in cartographic work is presented.

K e y w o r d s: green building, mapping, technologies of geoinformation systems (GIS technologies), urban landscapes, topographic and thematic maps, aerial photography, comic images, interpretation.

For citation:

Anopin V. N., Makhova S. I., Sabitova T. A., Stepanova E. A., Karpova O. I. [Features of mapping Volgograd territories with existing and projected green plants]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 86—96.

About authors:

Vladimir N. Anopin — Doctor of Geographical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AnopinVl.Nik.48@yandex.ru

Svetlana I. Makhova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

Tat'yana A. Sabitova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ta.sabitova@gmail.com

Ekaterina A. Stepanova — Docent of Hydraulic and Earth Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ekserstepan@bk.ru

Olga I. Karpova — Docent of Hydraulic and Earth Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olga.vist@mail.ru

УДК 628.4.03:349.6

Н. В. Коростелева, С. А. Лепехина

Волгоградский государственный технический университет

ОБРАЩЕНИЕ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ: СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Одной из актуальных проблем, связанных с ухудшением состояния окружающей природной среды, является нерациональное, неорганизованное и экологически опасное размещение отходов, образующихся в процессе хозяйственной и иной деятельности человека. В статье рассмотрены существующие методы утилизации твердых коммунальных отходов. Авторы проанализировали проблемные вопросы, возникающие в сфере обращения с ТКО в Российской Федерации и на основе анализа зарубежного опыта предложили возможные пути их решения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: охрана окружающей среды, твердые коммунальные отходы, обращение с отходами, утилизация отходов.

Хозяйственная и иная деятельность юридических и физических лиц, которая оказывает влияние на окружающую среду, должна обеспечивать необходимые условия сохранения благоприятной природной среды и экологической безопасности. При этом в процессе ее реализации неизбежно появляются отходы производства и потребления, оказывающие серьезное и постоянное негативное влияние на окружающую среду. Ежегодный рост благосостояния общества приводит и к увеличению масштабов образования твердых коммунальных отходов (далее — ТКО) которые образуются в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

ТКО — отходы, формирующиеся на жилой площади в процессе употребления физическими лицами. Кроме этого, в ТКО входят отходы, формирующиеся в результате деятельности хозяйствующих субъектов (юридических лиц и индивидуальных предпринимателей), аналогичные по составу отходам, создающимся в жилых помещениях в результате потребления физическими лицами (ст. 1 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»)[1].

В настоящее время в РФ образуется значительное количество отходов, при этом лишь небольшая их часть перерабатывается, а большая часть вывозится на свалки и полигоны (рис. 1, 2) [1—3]. Это связано с тем, что у нас в стране преобладает сбор мусора без обязательного его разделения на компоненты (бумага, пластик, стекло, батарейки и т. п.).

При этом ежегодно количество свалок увеличивается, и если не препятствовать этому процессу, Россия рискует попасть в список стран, находящихся на грани экологической катастрофы [4].

Проблема утилизации мусора в РФ и многих других странах связана с рядом преград, которые включают финансовые, системные, строительные, стратегические и другие факторы. Эти факторы дополняют друг друга и тем

[1]Письмо Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 11 октября 2019 г. № 08-25-53/24802 «О направлении разъяснений по вопросу регулирования деятельности в области обращения с ТКО». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72792270/

самым затрудняют создание экологически безопасной и одновременно выгодной системы утилизации.

Безопасная утилизация коммунальных отходов — масштабный и трудоемкий процесс, который требует значительной площади, специальных обстоятельств, финансирования и иных составляющих. Проблема экологически чистой и легальной утилизации в РФ до сих пор является актуальной. Это обусловливается процветанием правонарушений действующего законодательства предприятиями и неответственным отношением к этому вопросу со стороны каждого жителя страны [5].

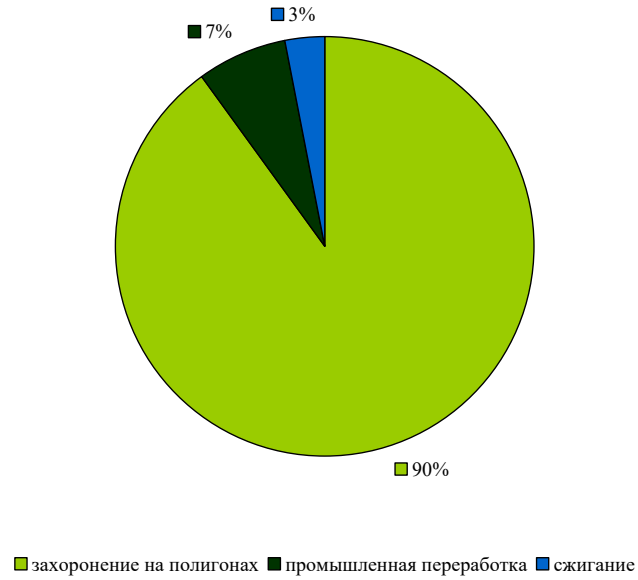


Рис. 1. Распределение ТКО по методам утилизации в РФ

Рис. 2. Распределение ТКО по местам складирования в РФ

Как уже отмечалось, на сегодняшний день существует несколько методов утилизации ТКО: захоронение, сжигание и переработка. Из трех способов только рециклинг не оказывает негативного влияния на окружающую среду.

На сегодняшний день огромные по площади территории земли выделяют под свалки и полигоны по захоронению отходов. В то же время в РФ действуют сотни нелегальных свалок и полигонов (рис. 3), производятся несанкционированные выбросы токсичных веществ в атмосферу и гидросферу, загрязняются поверхностные грунты, вследствие чего погибает животный и растительный мир.

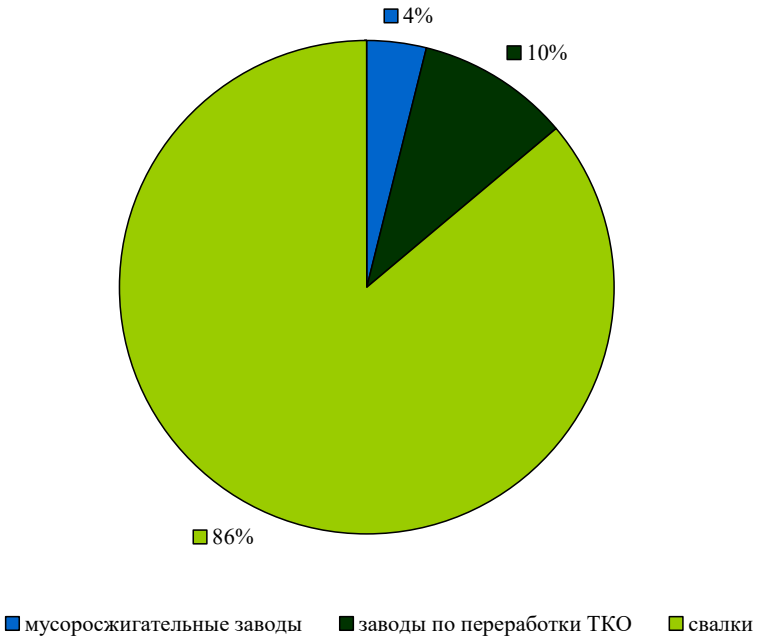


Рис. 3. Объекты складирования ТБО

Что касается сжигания ТКО, то оно сильно загрязняет окружающую среду и атмосферу Земли. Вредные вещества, выделяющиеся во время уничтожения ТКО, пагубно влияют на здоровье жителей страны. Поэтому так важно решить проблему утилизации мусора с помощью безопасных технологий, не наносящих вред окружающей среде, или найти альтернативные варианты, позволяющие, к примеру, подвергать отходы переработке и получать вторичный продукт.

В европейских странах с давних лет осуществляется экологическая политика по утилизации ТКО. Так, еще в конце 2005 г. Европейская комиссия опубликовала информацию о разработанной стратегии по предотвращению создания и утилизации отходов. Целью стратегии главным образом является уменьшение влияния на окружающую среду, связанного с ресурсами.

Ее задачей является повышение переработки мусора и понижение количества свалок, т. е. граждан учат неоднократно применять то, что можно не выкидывать, рассортировывать и правильно выносить отходы. Стратегия обязывает приобретать специальные пакеты для общих отходов, предостав-

ляя льготы для вывоза полезного переработанного сырья или органического вещества в специальные пункты.

Сортировка отходов и дальнейшая переработка являются оптимальным способом борьбы с отходами, распространяющими неприятный запах, и переполненными полигонами. Именно этот метод борьбы с отходами предпочли европейцы (рис. 4). В конце прошлого века европейцы обратили внимание на проблему утилизации отходов и создали отлично работающую модель в связи с многочисленным населением, незначительной территорией и дефицитом площади под полигоны для захоронения отходов.

Рис. 4. Борьба с отходами в других странах

Но необходимо отметить, что до сих пор проблема обращения с ТКО весьма остро стоит в подавляющем большинстве стран мира ввиду их негативного влияния на здоровье населения и экологическую безопасность в целом [6].

В качестве положительного примера можно привести опыт обращения с ТКО в Швеции, Германии, США и Японии.

Так, например, в Швеции грамотно сформированный раздельный сбор и переработка отходов привели к дефициту отходов. Страна не только справляется со своими отходами, но и принимает до 800 тыс. т отходов из Норвегии. Шведы выстроили инфраструктуру, которая способна не только их утилизировать, но и обращать в сырье. В частности, Стокгольм — столица Швеции — на 45 % обеспечена электроэнергией благодаря отходам. Несанкционированных свалок в стране практически нет, так как порядка 93 % мусора здесь применяют для повторного использования или сжигают. Такие высокие показатели достигаются благодаря значительной культуре местных жителей в сфере обращения с ТКО и отлаженной системе раздельного сбора отходов [7].

В Германии сформировалась тенденция строгой сортировки. Каждый год вырабатывается ориентировочно 41 млн т мусора, при этом 60—80 % этого объема уходит на переработку или заводы мусоросжигания — для выработки электроэнергии, а остальное отправляется на свалки. Оборот мусороперерабатывающей отрасли в 2017 г. составил примерно 70 млрд евро, а задействовано в этой области не менее 250 тыс. человек [8, 9]. Таким образом, страна приучила людей к бережному отношению к окружающей среде.

В США ежегодно вырабатывается более 250 млн т бытового мусора. Вторичное сырье перерабатывается на 550 заводах, еще приблизительно в 1000 заводах производится биологическое топливо на основе вторичного сырья, также есть заводы по выработке сжиженного газа из утилизированных бытовых отходов. Сегодня в мусороперерабатывающих заводах заняты 1,5 млн человек, а оборот этой отрасли составил примерно 250 млрд долларов. За 30 лет уровень вторичного использования отходов в итоге увеличился в 3 раза и превзошел 34 % [10].

В Японии захоронению подвергается лишь 5 % бытового мусора, остальное отправляется на переработку или сжигание. Страна занимает первое место в мире по числу заводов мусоросжигания (МСЗ) — их больше 1900 шт. Основная часть МСЗ размещается в черте городов, так как технологии, которые обеспечивают сжигание при температуре более 1200 °С и самая лучшая система фильтрации позволяют свести вредные выбросы почти к нулю [10]. Бесперебойную работу МСЗ обеспечивают очень жесткой дисциплиной среди жителей по предварительной сортировке мусора.

Еще одним методом утилизации мусора в стране является строительство «мусорных островов» (рис. 5). Приблизительно 250 км^2 в Токийском заливе стали сушей за счет переработки бумаги и оставшегося после горения отходов пепла. Такие территории применяются для строительства элитного жилья, парков, металлургических заводов и аэропортов.

Рис. 5. Остров Одайба в Токио из мусора

Но, к сожалению, в современном мире гораздо больше стран с повышенной степенью загрязнения окружающей среды из-за проблем утилизации ТКО, а значит, и уровнем заболеваний и смертности населения. К самым грязным местам планеты на сегодняшний день относятся Индия, Египет, Китай, Ирак и др.

Уничтожение мусора в РФ отличается от аналогичной процедуры в западных странах. Как уже отмечалось выше, в России практически не используется сортировка ТКО. Разные виды утиля уничтожаются вместе, что приводит к серьезным загрязнениям окружающей среды.

В настоящее время в России по статистическим данным ежегодно город с населением приблизительно 1 млн человек выкидывает на близлежащие территории до 400 т ТКО, что составляет удельный выход отходов на одного человека в нашей стране порядка 350—400 кг в год [12].

На данный момент в большинстве населенных пунктов России используется самый простой и недорогой способ захоронения отходов — полигонное депонирование. В связи с тем что на полигоны вывозится основная масса образующихся ТКО, их количества начинает не хватать [9]. Происходит загрязнение атмосферы, поверхностных слоев почвы, подземных вод и грунтов, также полигоны отрицательно воздействуют на растительный и животный мир, снижают уровень жизни населения близлежащих поселений. Вследствие отсутствия сортировочных центров и утилизации отходов, содержащих токсичные компоненты, увеличиваются масштабы загрязнения окружающей среды вредными и опасными веществами. Во время гниения мусора, расположенного на полигонах, образуется значительное количество газообразного вещества, которое возможно использовать для выработки электроэнергии. Но для ее получения необходимо оборудовать полигоны специальным оборудованием для откачки данного газа, а оно имеется лишь на незначительной части объектов в РФ. Но даже при наличии такого оборудования отходы, подлежащие захоронению, полностью исчезнут лишь через десятки, а то и сотни лет. Из-за этого экология остается незащищенной от разложения мусора в почве и всех выделений в процессе гниения и ферментации. Вследствие этого, несмотря на относительно дешевый метод борьбы с утилизированными отходами, для экологии наилучшим вариантом остается абсолютное уничтожение мусора путем его переработки и применения в изготовлении какой-либо продукции [11].

Помимо складирования ТКО их утилизация совершается при помощи термической переработки, которая позволяет избавиться от органических фракций. Такой метод довольно часто применяется при больших объемах утиля. Данный вид обработки отходных материалов включает в себя несколько процессов, в совокупности разрешающих утилизировать любой безвредный вид отходного материала или максимально минимизировать его объем и массу. Также термическую переработку проводят, для того чтобы обезвредить зараженные микроорганизмами или вирусами приборы, оборудование и пр.

После того как отходные материалы получили инертное состояние, их предоставляют захоронению на специальных полигонах или размещают на временное хранение для следующей переработки и вторичного использования как сырьевой материал[2].

[2] Рациональное потребление: почему это важно. URL:http://05.rospotrebnadzor.ru/directions_of_activity/protect/-/asset_publisher/gtQ9/content/рациональное-потребление%3A-почему-это-важно.

К преимуществам мусоросжигательных заводов в сравнении с иными методами по переработке отходов можно отнести:

– резкое сокращение количества мусора: в зависимости от типа мусора — на 80—95 %. Из этого следует, что требуются незначительные площади для захоронения мусора, меньше земли занимают свалками;

– производство тепловой и электрической энергии. С недавних пор заводы или предприятия, которые специализируются на термической утилизации отходов, вырабатывают тепловую или электроэнергию, применяющуюся для автономной работы организации. В некоторых случаях излишки такой энергии перенаправляются на городские станции, что позволяет снабжать электроэнергией или отапливать целые районы. В большинстве стран Европы и Японии мусоросжигательные заводы интегрированы в систему отопления. В Швеции в зимний период 8 % потребностей в обогреве жилых помещений удовлетворяется именно за счет сжигания мусора;

– уменьшение загрязнения окружающей среды по сравнению со складированием ТКО. На современных мусоросжигательных заводах большинство вредоносных химических соединений распадается на менее опасные;

– увеличение пожаробезопасности. Мусор на полигонах по тем или иным причинам может воспламениться. Если вовремя этого не обнаружить, может произойти крупный пожар. На МСЗ процесс горения находится под полным контролем;

– предотвращение образования метана (свалочного газа). Он формируется при разложении разнообразных отходов. Заводы по мусоросжиганию свалочного газа не выделяют.

К недостаткам мусоросжигательных заводов относятся:

– дым, который образуется при сжигании. Помимо углекислого газа он может содержать диоксины, канцерогены, тяжелые металлы и химические соединения. Большинство из них не только ядовиты, но и порождают смертельные болезни;

– зола может иметь в своем составе тяжелые металлы, яды и вредные вещества. Среди них порой появляются вещества, испускающие радиацию. Неправильное обращение и отсутствие дальнейшего их обезвреживания наносят урон природе, а в конечном итоге — человечеству;

– углекислый газ. Его повышение оказывает содействие процессу глобального потепления, с которым человечество в последние десятилетия ведет серьезную борьбу;

– косвенный вред экологии. Он заключается в участии в процессе роста мусора и отходов. Если их можно сжигать, то можно не размышлять о вторичной переработке, однако не все сгорает[3].

Ликвидация коммунальных отходов путем их сжигания приводит к выбросам с канцерогенами. Данные вещества могут существенно ухудшить здоровье человека. У живущих неподалеку от завода людей могут замечаться головные боли, недомогания, заболевания сердечно-сосудистой системы и т. п.[4]

[3]Мусоросжигание в России и в мире. URL: https://fabricators.ru/article/musoroszhiganie/

[4]Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России. URL: https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf.

Для того чтобы защитить чистоту воздуха, на предприятиях должны внедрять газоочистительное оборудование. Заводам следует соблюдать все санитарно-эпидемиологические и экологические требования и постоянно держать под контролем выбросы загрязняющих и токсичных веществ.

Таким образом, можно утверждать, что существующие методы утилизации ТКО являются нерациональными, так как требуют больших территориальных ресурсов и оказывают серьезное негативное воздействие на окружающую среду.

Опираясь на опыт европейских стран, можно говорить о том, что приоритетным направлением в утилизации отходов является их переработка и вовлечение во вторичный оборот. Такой подход позволит превратить «мусорную» отрасль в технологический сектор, где отходы станут источником сырья.

В России уже разрабатываются и воплощаются в жизнь новейшие программы по утилизации и переработке отходов. Так, еще в 2013 г. приказом Министерства природных ресурсов и экологии от 19.09.2013 № 298 была утверждена «Комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации», рассчитанная до 2030 г. Главной целью данной стратегии является предотвращение вредного воздействия ТКО на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечение полезных компонентов, которые содержатся в отходах, в хозяйственный оборот [12]. В ней законодатель обозначил необходимость обработки тех отходов, которые содержат элементы, подлежащие повторному использованию, в целях обеспечения экономии и рационального использования ресурсов.

А в декабре 2018 г. в рамках нацпроекта «Экология» был утвержден федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО)», согласно которому к 2024 г. сортировке, разборке и очистке должно подвергаться 60 % всех ТКО, а 60 % отсортированных отходов должно потом отправляться на утилизацию. Таким образом, планируется, что не менее 36 % всех ТКО будет утилизироваться — сегодня утилизации подвергается не более 10 %.

В законе «Об отходах производства и потребления» под утилизацией понимается и переработка, и сжигание мусора, но приоритетной названа именно переработка. Для этого в рамках проектов «Чистая страна» и «Экология» предлагается образовать федеральную инфраструктуру по переработке коммунальных отходов. К концу 2024 г. по всей стране Министерство природных ресурсов планирует открыть 200 очистных сооружений. Для осуществления данных проектов предполагается использовать средства, которые получили от экологических гражданских платежей. Уже к 2021 г. были потрачены деньги на строительство и оборудование 39 полигонов на территории 22 регионов страны. Более 80 % субъектов РФ перешли на обновленную систему утилизации ТКО, которая предполагает внедрение раздельного сбора отходов[5].

В декабре 2020 г. была сформулирована новая концепция расширенной ответственности производителей товаров (РОП), которая как раз и должна

[5]Российский экологический оператор «Промежуточные итоги реализации реформы в сфере ТКО». URL: https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/Презентация%20Гудкова%20И.Э..pdf.

стимулировать развитие системы переработки мусора. РОП — это установленные государством законы и правила, которые обязывают производителя утилизировать упаковку от выпущенных (для импортеров — ввезенных) товаров и сами товары после утраты ими потребительских свойств. По сути, речь идет о создании новой современной отрасли — начиная от расстановки во дворах домов контейнеров для раздельного сбора мусора и заканчивая строительством заводов, работающих на вторичном сырье.

Однако на сегодняшний день предложенные меры не способствуют кардинальному изменению системы регулирования обращения с ТКО, это обусловлено скоростью их внедрения на территориях субъектов РФ, а также несовершенством законодательной базы, тормозящей процесс внедрения нововведений.

Так, внесенные в конце декабря 2019 г. поправки в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» были призваны стимулировать раздельный сбор и утилизацию отходов. С января 2020 г. по всей стране начала действовать двухконтейнерная система сбора отходов: во дворах начали устанавливать по два мусорных бака — для вторсырья (бумага и картон, стекло, пластик, текстиль) и для смешанных отходов. За каждым видом отходов — в идеальном случае — приезжают разные машины, которые отвозят мусор на сортировочные станции, где выделяют фракции для переработки. По данным публично-правовой государственной компании «Российский экологический оператор» (ППГК РЭО), курирующей мусорную отрасль, на конец 2020 г. в России было обустроено 79 819 площадок, на которых установили 92 153 контейнера. Это примерно 22 % необходимого количества — требуется установить еще 327 840 баков, для чего нужно 5228 млн руб.

Вывозом и сортировкой отходов занимаются региональные операторы — компании, которые в каждом регионе выбираются на конкурсной основе. Региональные власти, согласовавшие со своими операторами условия раздельного сбора, получают средства для приобретения контейнеров из федерального бюджета. Но, к сожалению, на сегодняшний день во многих регионах нет сортировочных комплексов, поэтому и приобретать контейнеры бессмысленно.

Таким образом, ситуация с обеспечением экологической безопасности при обращении с отходами в РФ в общем недостаточно удовлетворительна. Актуальность этой проблемы остро ощущается в крупных городах, где формируется огромное количество твердых коммунальных отходов. Препятствия формируют не только правительственные или вышестоящие органы и организации, но и каждый отдельный человек.

Одна из главных проблем мусорной реформы — отсутствие информационной кампании. Власти и региональные операторы не разъяснили людям ни сути реформы, ни важности раздельного сбора мусора, ни принципов новой системы, ни причин роста тарифов.

Обзор развитого зарубежного опыта обращения с ТКО помог понять, что в России существуют неплохие перспективы для внедрения большинства зарубежных практик обращения с ТКО, в том числе с использованием отечественного оборудования и технологий, — прежде всего это касается расширения сортировки отходов и производств для их утилизации.

Кроме этого, считаем важным интенсифицировать разъяснительную работу среди населения, чтобы обеспечить его участие во внедрении прогрессивных практик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коростелева Н. В.* Обеспечение экологической безопасности муниципальных образований в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами: проблемные вопросы // Современные проблемы обеспечения экологической и продовольственной безпасности: материалы Международной науч.-практич. конф. преподавателей, практических сотрудников, студентов, магистрантов, аспирантов, 19 апреля 2019 г. Волгоград. Волгоград, 2019. С. 59—62.

2. *Ярмиева А. Б.* Твердые коммунальные отходы: существующие проблемы и пути их решения // Вопросы российской юстиции. 2020. № 5. С. 593—609.

3. *Морозов В. В., Курбатова З. И., Курбатова Е. П.* Проблемы обращения с твердыми бытовыми отходами и зоны экологического бедствия // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 9—13.

4. *Коростелева М. В., Коростелева Н. В.* Обращение с твердыми коммунальными отходами как фактор обеспечения экологической безопасности: анализ зарубежного и российского опыта // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 124—133.

5. *Иванов А. А*. О проблеме систематизации экологического законодательства России // Вестник ВУиТ. 2016. № 2. С. 163—169.

6. Hamer G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety // Biotechnology Advances. 2003. Vol. 22. Iss. 1–2. Pp. 71—79.

7. *Преликова Е. А., Юшин В. В., Вертакова Ю. В.* Эколого-экономические приоритеты раздельного сбора отходов // Лесотехнический журнал. 2019. № 1(33). С. 187—195.

8. *Ферару Г. С.* Проблемы, тенденции и способы регулирования деятельности по обращению с отходами // Экономика. Информатика. 2011. № 7-1 (102). С. 24—33.

9. *Мочалова Л. А., Гриненко Д. А., Юрак В. В.* Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт // Известия УГГУ. 2017. № 3(47). С. 97—101.

10. *Пинаев В. Е., Ломоносова М. В.* Опыт экономически развитых стран в использовании промышленных твердых отходов // Исследовано в России. 2004. № 7. С. 1434—1452.

11. *Финогенов А. И.* Перспективы развития предприятий по переработке твердых бытовых отходов для размещения в структуре малых городских поселений России // Инновации и инвестиции. 2021. № 1. С. 201—205.

12. Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в РФ: приказ Министерства природных ресурсов и экологии от 14.08.2013 № 298 // Нормирование в строительстве и ЖКХ. 2013. № 4.

© *Коростелева Н. В., Лепехина С. А., 2021*

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В., Лепехина С. А. Обращение с твердыми коммунальными отходами: существующие проблемы и пути решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 97—107.

Об авторах:

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; korostelevanv@mail.ru

Лепехина Светлана Александровна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; svetlana.lepekhina@list.ru

Nataliya V. Korosteleva, Svetlana A. Lepekhina

Volgograd State Technical University

TREATMENT OF SOLID MUNICIPAL WASTE: EXISTING PROBLEMS AND SOLUTIONS

One of the urgent problems associated with environmental degradation is the unsustainable, unorganized and environmentally hazardous disposal of wastes generated in the course of human eco-

nomic and other activities. The presented work considers the existing methods of disposal of municipal solid waste. The authors analyzed problematic issues arising in the field of MSW management in the Russian Federation and, based on the analysis of foreign experience, proposed possible ways to solve them.

K e y w o r d s: environmental protection, municipal solid waste, waste management, waste disposal.

For citation:

Korosteleva N. V., Lepekhina S. A. [Treatment of solid municipal waste: existing problems and solutions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 97—107.

About authors:

Nataliya V. Korosteleva — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; korostelevanv@mail.ru

Svetlana A. Lepekhina — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; svetlana.lepekhina@list.ru

УДК 504.3.054

Н. А. Литвинова[а], В. Н. Азаров[б]

[а] Тюменский индустриальный университет
[б] Волгоградский государственный технический университет

О МОДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ВЫСОТЕ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ТИПА ЛОКАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ

Рассмотрена разработанная модель вертикального распределения концентраций загрязняющих газообразных веществ по высоте зданий с учетом типа локальной застройки в городской среде от источников выброса в атмосферу: на основе общего уравнения Гаусса от точечных источников и от передвижных источников с использованием уравнения переноса газового потока Бюргерса. Модель получена на основе многолетних экспериментальных исследований 2008—2020 гг. вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей по высоте здания в городской среде. Обоснованы поправочные коэффициенты учета типа локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, торцевая под углом, смешанная) от магистралей различной интенсивности движения автотранспорта и от точечных источников выброса. Сделан сравнительный анализ результатов расчетов концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с помощью усовершенствованной модели с учетом локального типа застройки и общепринятой методики расчета рассеивания выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: модель вертикального распределения, концентрации, загрязняющие газообразные вещества, точечный источник, передвижной источник, тип локальной застройки, городская среда.

Введение

В настоящее время атмосферный воздух зданий крупных городов сильно загрязнен различными вредными газообразными веществами от автотранспорта, а также котельными малой мощности (точечными источниками выбросов небольшой высоты выброса над поверхностью земли) [1—4]. Кроме того, во многих крупных мегаполисах сложилась устойчивая тенденция роста передвижных источников. Такие источники особенно неблагоприятны для качества внутренней воздушной среды помещений многоэтажных зданий прилегающих территорий [5—8].

Исследования вертикального распределения концентраций дисперсных частиц (пыли) в атмосфере проведены многими учеными [5, 6, 8, 9], но в настоящее время все еще отсутствуют сводные расчеты эффекта суммации газообразных загрязняющих веществ от точечных источников выброса (труб котельных) и передвижных (автотранспорта) с учетом внутреннего типа локальной застройки, перемещения масс и времени суток [6, 10—12]. Не видно полной картины оценки загрязнения атмосферного воздуха и невозможно объективно оценить угрозу, для того чтобы принять предварительные проектные решения по выбору площадок под жилищное строительство [6, 13, 14]. На сегодняшний день существующий математический аппарат дает только оценку загрязнения атмосферы города при конкретном наборе технических параметров источников выбросов [2, 3, 7, 15]. В связи с этим актуальным является разработка упрощенной и уточняющей математической модели вертикального распределения концентраций загрязняющих

газообразных веществ в любой точке по высоте зданий с учетом типа локальной застройки районов крупных городов. Данная модель не будет требовать долгосрочного выполнения расчетов и трудоемких экспериментальных исследований. Это необходимо при проектировании многоэтажных зданий, которые находятся в эксплуатации, а также для вновь проектируемых объектов строительства и городского хозяйства [16—19].

Объект исследования — процесс загрязнения наружной воздушной среды по высоте зданий, расположенных вблизи автотранспортных магистралей и точечных источников выброса в атмосферу в городской среде.

Цель исследования — разработать модель вертикального распределения концентраций загрязняющих газообразных веществ по высоте зданий с учетом типа локальной застройки в городской среде от источников выброса в атмосферу.

Задачи:

1. Провести многолетние экспериментальные исследования в 2008—2020 гг. вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей по высоте здания от точечных источников выброса (труб котельных разной высоты по отношению к зданию) и передвижных источников (автомагистралей) с различной интенсивностью движения, находящихся на различных расстояниях от зданий.

2. Провести анализ и выполнить математическое описание процесса вертикального рассеивания концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе зданий от точечных и передвижных источников выброса с учетом типа локальной застройки (строчная, торцевая, периметральная, смешанная) на основе экспериментальных исследований.

3. Разработать модель вертикального распределения концентраций загрязняющих газообразных веществ по высоте зданий в городской среде на основе общего уравнения Гаусса от точечных источников выброса.

4. Разработать модель вертикального рассеивания примесей от передвижных источников выброса с использованием уравнения переноса газового потока Бюргерса.

5. Сделать сравнительный анализ результатов расчетов концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с помощью разработанной модели качества воздуха с учетом типа локальной застройки и общепринятой методики расчета рассеивания выбросов в атмосферу (МРР 2017).

Материалы и методы

В 2008—2020 гг. проведен подфакельный отбор проб воздуха по оксиду углерода (II) CO по высоте многоэтажных зданий от точечных источников выброса разной высоты $H_и$ к высоте H зданий $H_и/H$: 0,5; 1; 1,5; 2;2,5 и на разных расстояниях R_i от зданий. Оксид углерода (II) от точечных источников выброса выбран как примесь, наиболее устойчивая к атмосферной влажности и имеющая прочную связь C≡O [15].

Пробы воздуха также исследовались на содержание оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1—C5) по высоте (вертикали) зданий, находящихся на различных расстояниях от магистралей с различной интенсивностью движения автотранспорта, авт./ч: свыше 500, 500—1000, свыше 1000. Одновременно фиксировались метеорологические параметры воздушной среды: температура, давление, скорость ветра, направление ветра в летний и зимний периоды года.

Экспериментальные исследования оценки концентраций газообразных загрязняющих веществ по высоте зданий проведены при различных типах застройки: строчная, торцевая, торцевая под углом, периметральная, смешанная.

Для исследуемых зданий найдены границы размеров аэродинамических теней: наветренной и подветренной (рис. 1).

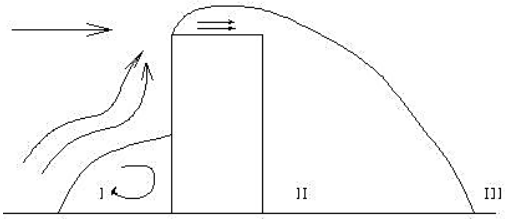


Рис. 1. Схема аэродинамической тени от здания: I — наветренная тень; II — подветренная тень; III — за пределами тени

Отбор проб воздушной среды от анализируемых источников выброса проводился по высоте здания (по высоте каждого этажа) с учетом размеров аэродинамической тени от него (рис. 1), что позволило зафиксировать концентрации загрязняющих веществ в местах образования вторичных рециркуляционных течений воздуха, способствующих скоплению высоких концентраций загрязняющих газообразных веществ. Также это позволило понять процент концентраций загрязняющих веществ с подветренной стороны зданий по отношению к наветренной стороне здания и ввести поправочный коэффициент учета типа локальной застройки.

Результаты и обсуждение

На основании многолетних исследований по отбору проб воздуха по высоте зданий в 2008—2020 гг. подставляем зависимость концентрации загрязнителя CO по высоте каждого этажа здания от точечных источников выброса [4], используя уравнение (1) турбулентной диффузии (общее уравнение Гаусса) [1, 2]:

$$\frac{\partial\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial t}+U\frac{\partial\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{R_i}{R_{\max}}\right)}=\frac{d}{d\left(\frac{H_{\text{и}}}{H}\right)}k_{\frac{ни}{н}}\frac{\partial\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{H_{\text{и}}}{H}\right)}+k_{\frac{hi}{H}}\frac{\partial\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{hi}{H}\right)}+\frac{aC_i}{C_{\max}}, \qquad (1)$$

где a — коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет изменения примеси; U — скорость перемещения примеси, м/с; K — составляющая коэффициента обмена; t — время, ч; $H_{\text{и}}$ — высота источника, м; H — высота здания, м; R_i — расстояние от источника до наружной стены здания, м; $R_{\max}$ — расстояние, на котором достигается максимально приземная концентрация, м; h_i — высота этажа здания, м; C_i — концентрация загрязнителя на высоте hi здания, мг/м^3; $C_{\max}$ — максимальная концентрация по высоте здания, мг/м^3.

Так как примесь оксид углерода (II) устойчива в атмосфере, принимаем $a = 1$. В связи с тем что примесь сохраняется в атмосфере, изменения концентраций CO со временем в атмосферном воздухе носят квазистационарный характер, и $\frac{\partial\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial t}=0.$

Дифференцируем уравнения турбулентной диффузии (1) с заданными граничными условиями по осям: X (от 0 до $R_i/R_{\max} = 1$), Y (от $H_и/H = 0{,}5$ до $H_и/H = 2$), Z (от $h_i/H = 0{,}1$ до $h_i/H = 1$), где R_i — это расстояние от магистрали до здания, м; $R_{\max}$ — максимальное расстояние, на котором обнаружена концентрация i-загрязнителя; $H_и$ — высота источника, м; H — высота здания, м; h_i — высота этажа здания, м. Получаем после математических вычислений уточняющую модель вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей $\frac{C_i}{C_{\max}}$ по высоте здания (2) с учетом высоты каждого этажа здания h_i и высоты всего здания H, а также характеристик точечного источника выброса. Подставляем коэффициент диффузии по методу Гиллеленда:

$$\frac{C_i}{C_{\max}} = -U\frac{0{,}0125(R_{\max} - R_i)}{R_{\max}^2} + \frac{0{,}0043T^{3/2}}{p\left(V_{м,1}^{\frac{1}{3}} + V_{м2}^{\frac{1}{3}}\right)^2}\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2}\right)^{1/2}\left[\frac{0{,}4146(H^2 - HH_и)}{H^4} - \right. \quad (2)$$
$$\left. - \frac{0{,}03667(H - h_i)}{H^2}\right],$$

где $H_и$ — высота источника, м; H — высота здания, м; R_i — расстояние от источника до наружной стены здания, м; $R_{\max}$ — расстояние, на котором достигается максимально приземная концентрация, м; h_i — высота этажа здания, м; C_i — концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, мг/м^3; $C_{\max}$ — максимальная концентрация по высоте H здания, мг/м^3: U — скорость перемещения газообразной примеси; T — температура воздуха, К; $V_{м,1}$, $V_{м2}$ — молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах кипения [20], см^3/моль; M_1, M_2 —— молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p — атмосферное давление, атм.

Данное уравнение вертикального распределения концентраций (2) позволяет конкретизировать высоту этажа, где $\frac{C_i}{C_{\max}} = 1$, т. е. высоту этажа, где концентрация газообразного загрязняющего вещества будет максимальной.

Для учета вертикального распределения концентраций газообразных веществ по высоте зданий от передвижных источников использовали уравнение Бюргерса, которое описывает перемещение примеси в атмосфере под действием скорости ветра [2]. При этом C — концентрация примеси, мг/м^3; $V_с$ — скорость ветра, м/с.

Запишем уравнение (3) с диффузионным слагаемым уравнения переноса как функцию от концентрации i-вещества $C_i/C_{\max}$ на высоте каждого этажа $\frac{h_i}{H}$: C_i к максимальной концентрации $C_{\max}$ по высоте всего здания H:

$$\frac{\partial\left(\frac{c_i}{C_{\max}}\right)}{\partial t} + V_c\frac{\partial\left(\frac{c_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{h_i}{H}\right)} = \varphi\left(\frac{c_i}{C_{\max}}; \frac{h_i}{H}; H\right). \quad (3)$$

С учетом концентрации *i*-вещества на высоте этажа здания $\frac{h_i}{H}$ к максимальной концентрации $C_{\max}$ по высоте всего здания H и коэффициента турбулентной диффузии D, м^2/с, получаем уравнение (4):

$$\frac{\partial\left(\frac{c_i}{C_{\max}}\right)}{\partial t}+V_c\frac{\partial\left(\frac{c_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{h_i}{H}\right)}=D\frac{\partial^2\left(\frac{C_i}{C_{\max}}\right)}{\partial\left(\frac{h_i}{H}\right)^2}. \quad (4)$$

Подставляя математическую зависимость концентрации CO по высоте здания от магистрали автотранспорта от нескольких факторов, полученную эмпирическим путем для интенсивности свыше 2500 авт./ч [4], и дифференцируя уравнение (4), получаем, учитывая изменения величины безразмерной концентрации $\frac{\frac{C_i}{c_{\max}}}{\partial t}$ загрязняющих веществ от времени суток t, температуру воздуха и давление, уравнения (5) и (6) изменения концентрации от расстояния (R_i до $R_{\max}$) и по вертикали от поверхности земли (h_i до H) соответственно:

$$\frac{\frac{C_i}{C_{\max}}}{\partial t}=\frac{0,0109\cdot 0,0043T^{3/2}\left(\frac{M_1+M_2}{M_1M_2}\right)^{1/2}\left(R_{\max}-R_i\right)}{p(V_{м,1}^{\frac{1}{3}}+V_{м2}^{\frac{1}{3}})^2R_{\max}^2}+\frac{V\cdot 0,00545\left(R_{\max}-R_i\right)}{R_{\max}^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\frac{c_i}{C_{\max}}}{\partial t}=\frac{0,392\cdot 0,0043T^{3/2}\left(\frac{M_1+M_2}{M_1M_2}\right)^{1/2}(H-h_i)}{p(V_{м,1}^{\frac{1}{3}}+V_{м2}^{\frac{1}{3}})^2H^2}+\frac{V\cdot 0,198(H-h_i)}{H^2}, \quad (6)$$

где V — скорость ветра, м/с; $R_{\max}$ — максимальное расстояние от магистрали до здания, на котором обнаружена концентрация *i*-загрязняющего вещества, м; R_i — расстояние от магистрали до здания, м; V — скорость ветра, м/с; H — высота здания, м; h_i — высота этажа, м; T — температура воздуха, К; $V_{м,1}$, $V_{м2}$ — молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах [20], см^3/моль; M_1 и M_2 — молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p — атмосферное давление, атм.

Для остальных газообразных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от автотранспорта проведен расчет объемной доли газов (%) каждого загрязнителя в смеси газов по высоте задания в зависимости от измеренной экспериментально максимальной концентрации по высоте здания в воздухе, молярной массы газа (г/моль) и количества вещества (моль) *i*-загрязнителя в смеси газов. Объемная доля газов в атмосферном воздухе здания при максимальной концентрации загрязнителей составляет: по оксиду углерода (II) — 28,40 %, по углеводородам алифатическим (C1—C5) — 60,174 %, по фенолу — 2,64 %, по формальдегиду — 8,779 %.

Граничные условия: высота этажа изменяется от h_i/H до H: от 0,1 до 1 (1 — высота последнего этажа здания по вертикальной оси Z (высота здания); ось X: расстояние от здания до магистрали от R_i/R_{max} до R: от 0,1 до 1 (до максимального расстояния, на котором обнаружена концентрация загрязнителя по высоте здания); ось Y (величина всего здания H).

Решая уравнения (6) и (7), можно построить модель рассеивания примесей по высоте здания и по высоте каждого этажа при различных расстояниях от автотранспортной магистрали в момент наибольшей загруженности магистрали, при наиболее неблагоприятной скорости ветра. Для прогнозирования концентрации загрязняющих веществ по высоте здания от магистрали с различной интенсивностью движения необходимо умножить на коэффициент, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент учета интенсивности движения магистрали, авт./ч

От 1000 до 2000	Свыше 500—1000	Менее 500
0,19	0,13	0,0667

Входящими параметрами модели качества вертикального распределения концентрации от точечного источника являются: расстояние от источника до здания R_i, м; высота здания H, м; высота источника $H_и$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_и/H$. Метеорологические факторы: скорость ветра U, м/с: зимний период, летний период; температура, К: зимний период (абсолютный минимум среднегодовой); летний период (абсолютный максимум среднегодовой); давление, мм рт. ст. (атм.): в зимний и летний периоды; роза ветров, по основным румбам (среднегодовые параметры), %: для зимнего и летнего периодов года для городов по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная.

Входящими параметрами разработанной модели с наветренной стороны от передвижного источника выброса (автомагистрали) являются: расстояние от магистрали до здания R_i, м; высота здания H, м; интенсивность автомагистрали I, авт./ч: до 500; свыше 500 до 1000; свыше 1000 до 2000; свыше 2000. Метеорологические факторы: скорость ветра V, м/с: зимний период, летний период; температура, К: зимний период (абсолютный минимум); летний период (абсолютный максимум), К; давление, мм рт. ст. (атм.): зимний и летний периоды; тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная.

Для расчета эффекта суммации от нескольких источников выброса в атмосферу с наветренной стороны здания учитываем суммацию безразмерных концентраций газообразных загрязняющих веществ по формуле (7) к максимальной концентрации по высоте H здания:

$$\frac{C_i(\text{источник № 1})}{C_{max}} + \frac{C_i(\text{источник №2})}{C_{max}} + \ldots \frac{C_i(\text{источник №}n)}{C_{max}} \le \frac{C_i}{C_{i\text{пдк}}}, \quad (7)$$

где C_i — концентрация i-газообразного загрязняющего вещества по высоте каждого этажа здания (h_i), обладающего эффектом суммации, мг/м^3; $C_{\max}$ — максимальная концентрация по высоте здания H, мг/м^3; $\frac{C_i}{C_{i\text{пдк}}}$ — предельно-допустимая безразмерная концентрация i-газообразного загрязняющего вещества.

После расчета концентрации газообразных загрязняющих веществ с наветренной стороны здания от источников выброса с помощью данной модели получаем распределение безразмерных концентраций в трех ортогональных осях: ось X (расстояния $R_i/R_{\max}$), Y (точки по высоте этажей здания h_i/H) и Z (безразмерная концентрация по высоте этажей $C_i/C_{\max}$).

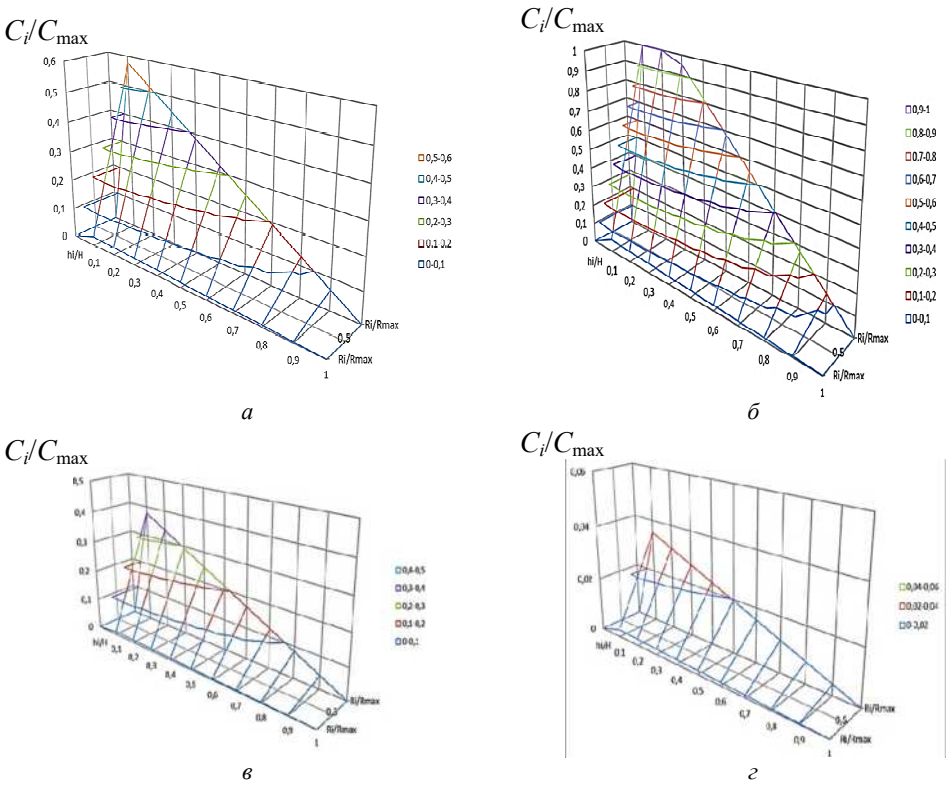


Рис. 2. Концентрации с наветренной стороны здания $C_i/C_{\max}$ по высоте каждого этажа здания h_i/H и на различном расстоянии здания от автотранспортной магистрали $R_i/R_{\max}$ в наружном воздухе с интенсивностью свыше 2000 авт./ч: *а* — оксида углерода (II); *б* — углеводородов алифатических (С1—С5); *в* — формальдегида; *г* — фенола

С подветренной стороны здания от магистрали необходимо умножить на поправочный коэффициент учета типа локальной застройки в зависимости от интенсивности движения магистрали (табл. 2). Поправочные коэффициенты получены на основании экспериментальных исследований концентраций загрязняющих веществ при различных типах локальной застройки с наветренной и подветренной сторон зданий.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты K учета типа локальной застройки для передвижных источников

Интенсивность движения, авт./ч	Торцевая наветрен-ная/подветренная	Строчная наветрен-ная/подветренная	Периметральная наветрен-ная/подветренная	Торцевая под углом наветрен-ная/подветренная	Смешанная наветрен-ная/подветренная
До 500	0,99/0,777	0,768/0,668	1,0/0,375	0,541/0,441	0,321/0,221
От 500—1000	0,99/0,889	0,868/0,768	1,0/0,475	0,641/0,540	0,421/0,340
От 1000—2000	0,99/0,95	0,968/0,868	1,0/0,618	0,751/0,640	0,521/0,435
Свыше 2000	0,99/0,97	0,99/0,968	1,0/0,750	0,841/0,78	0,621/0,535

От точечных источников с учетом локального типа застройки (строчная, торцевая, периметральная) величины концентраций оксида углерода (II) с наветренной и подветренной сторон от источника по высоте зданий на рис. 3, 4 за 2008—2020 гг. представлены в относительных значениях, где за единицу взята концентрация на высоте 1,5 м.

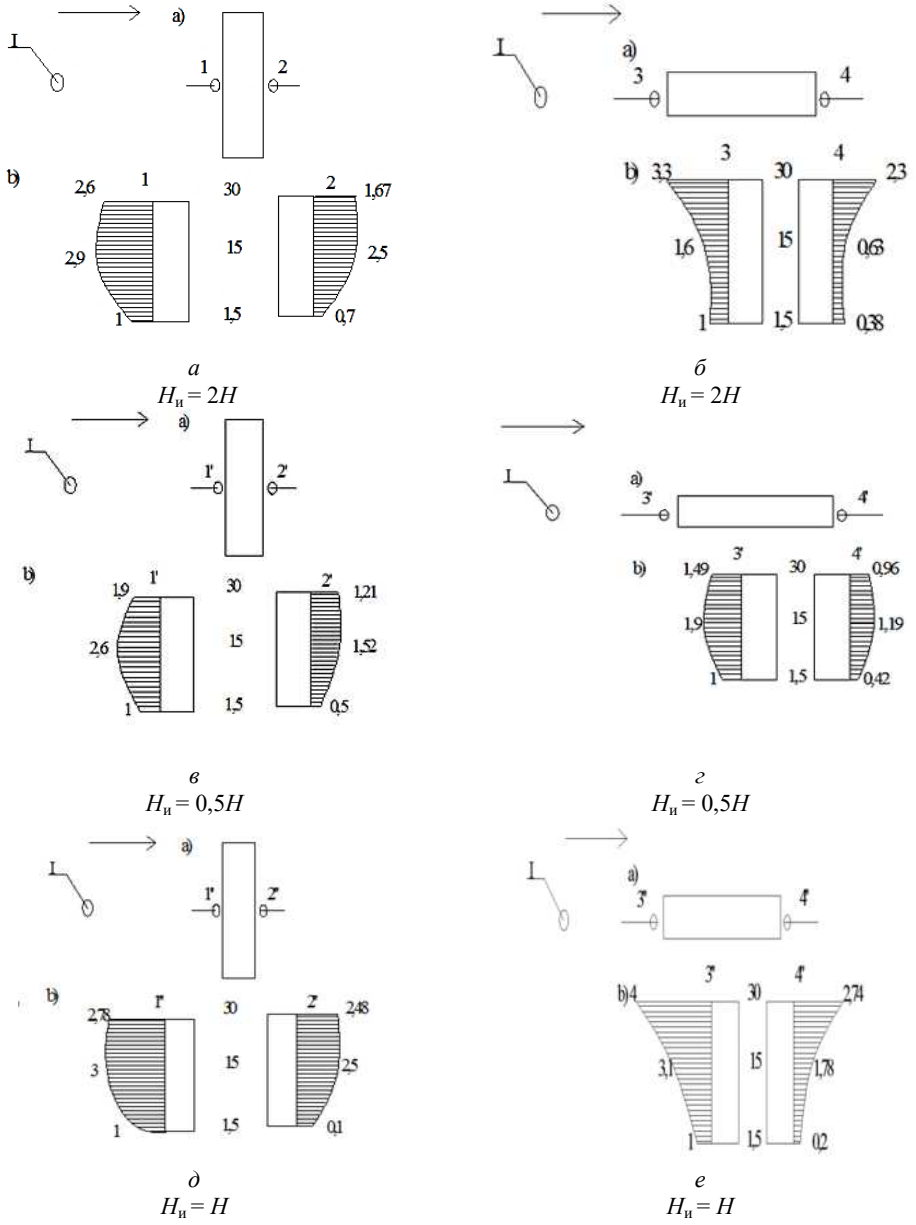
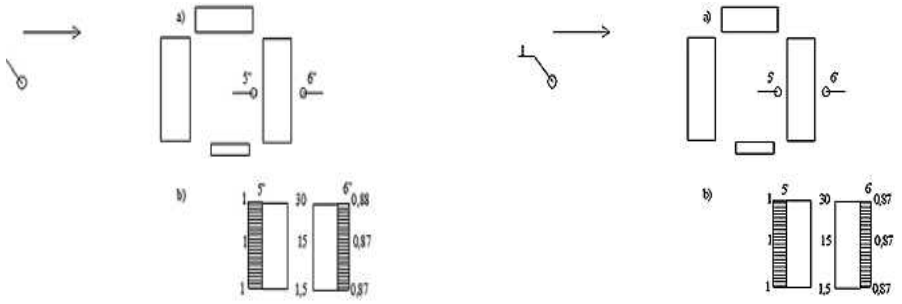


Рис. 3. Вертикальное распределение величины концентрации CO в атмосферном воздухе по высоте зданий: *а*, *в*, *д* — при строчной застройке; *б*, *г*, *е* — при торцевой застройке на расстоянии $10H_и$ ($H_и$ — высота источника, H — высота здания): *а* — вид сверху: точки отбора проб: 1, 1’, 1’’, 3, 3’, 3’’ — наветренные; 2, 2’, 2’’, 4, 4’, 4’’ — подветренные стороны; *b* — вертикальные эпюры концентраций по высоте этажей зданий на высотах 1,5, 15 и 30 м от уровня земли

Из рис. 3, 4 видно, что изменение концентрации CO зависит от высоты источника $H_и$, высоты здания H и типа локальной застройки, что влияет также на процент величины концентрации загрязняющего вещества с подветренной стороны здания.



а $H_и = 0{,}5H$ *б* $H_и = H$

Рис. 4. Вертикальное распределение величины концентрации CO в атмосферном воздухе по высоте зданий при периметральной застройке ($H_и$ — высота источника, H — высота здания): *а* — вид сверху: точки отбора проб: 5, 5’ — наветренные; 6, 6’ — подветренные стороны; *b* — вертикальные эпюры концентраций по высоте этажей зданий на высотах 1,5, 15, 30 м от уровня земли

На основании экспериментальных исследований качества воздуха по высоте зданий от точечных источников выброса получены поправочные коэффициенты, учитывающие тип локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ с наветренной и подветренной сторон здания, где $H_и$ — высота источника, м; H — высота здания, м (табл. 3).

Таблица 3

Поправочные коэффициенты учета типа локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ по высоте здания от точечных источников выброса, работающих на природном газе, с наветренной (I) и подветренной (II) сторон здания от источников ($k_{пересчета\ типа\ застройки\ для\ точечных\ источников}$)

$H_и/H$	Торцевая		Строчная		Периметральная		Торцевая под углом		Смешанная	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2,5	0,570	0,513	0,320	0,220	0,95	0,765	0,560	0,460	0,768	0,668
2	0,667	0,601	0,445	0,345	0,96	0,829	0,677	0,577	0,667	0,567
1,5	0,827	0,744	0,556	0,456	0,98	0,904	0,744	0,644	0,556	0,456
1	0,974	0,877	0,667	0,567	0,99	0,977	0,650	0,550	0,445	0,345
0,5	0,999	0,967	0,768	0,668	1,0	0,989	0,541	0,441	0,321	0,221

На основе полученных уравнений проведен сравнительный анализ расчетных концентраций на примере оксида углерода (II) по высоте зданий по общепринятой методике расчета рассеивания (МРР 2017) и расчета концентраций CO по разработанной модели вертикального распределения концентраций от точечных источников выброса разной высоты выброса и на разных расстояниях от зданий (рис. 5).

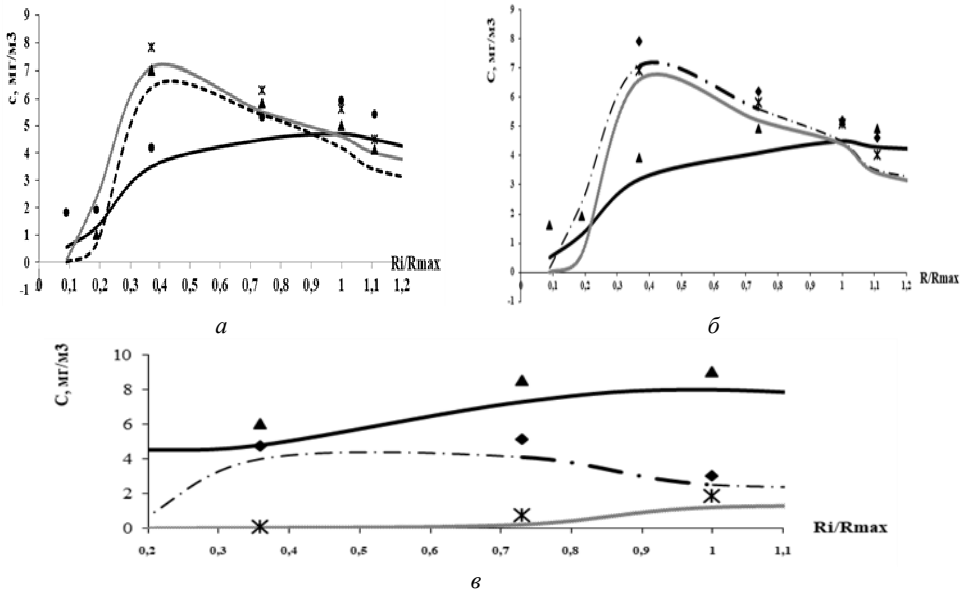


Рис. 5. Анализ вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) по высоте зданий от точечных источников выброса: *а* — $H_и = 2H$; *б* — $H_и = H$; *в* — $H_и = 0{,}5H$: $H_и$ — высота источника, м; H — высота здания, м; R_i — расстояние от источника до здания, м; R_{max} — расстояние, на котором достигается максимально приземная концентрация, м

По построенным графикам (см. рис. 5) видно, что расхождение с методикой тем больше, чем ближе расчетная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения: застойные зоны со скоростью ветра, близкой к нулю, и турбулентным перемешиванием. На уровне этажа $0{,}05h/H$ (первый этаж) методика МРР 2017 занижает величину концентрации загрязняющего вещества до 35—40 %, на уровне середины здания $0{,}5h/H$ — до 25 %, на уровне последнего этажа $1h/H$ — до 15 %.

Расхождение значительно на уровне 1,5—2 м, что составляет без учета типа застройки и эффекта суммации и перемещения масс автомагистралей в данном приведенном варианте (на примере строчной застройки) до 35—40 %.

Результаты расчетов по МРР 2017 по высоте здания не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения, а также тип локальной застройки (периметральная, строчная, торцевая, смешанная) и эффект суммации концентраций загрязнителей за счет перемещения масс от передвижных источников выброса.

Таким образом, сравнительные графики результатов расчета по общепринятой методике МРР 2017 и разработанной модели вертикального распределения концентраций на основе многолетних экспериментальных исследований атмосферного воздуха по высоте зданий подтвердили закономерности изменения концентраций газообразных загрязняющих веществ по высоте

при различных типах локальной застройки и характеристиках источника выброса с учетом климатических особенностей различных регионов.

Заключение

1. Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II) от точечных источников выброса по высоте зданий при различных типах локальной застройки показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителя с подветренной стороны зданий уменьшается на 31,25 %, при торцевой — на 10 %, при периметральной — на 20 %, при торцевой под углом — на 17,86 %, при смешанной — на 12,11 %. Изменение концентрации CO зависит не только от высоты источника $H_и$, высоты здания H, расстояния от источника до здания, но и типа локальной застройки.

2. Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1—C5) от передвижных источников выброса (автомагистралей) по высоте зданий показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителей с подветренной стороны уменьшается на 13,02 %, при торцевой — на 2—3 %, при периметральной — на 25 %, при торцевой под углом — на 18,75 %, при смешанной — на 31,16 %.

3. Входящими параметрами модели вертикального распределения концентрации оксида углерода (II) от точечного источника являются: расстояние от источника до здания R_i, м; высота здания H, м; высота источника $H_и$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_и/H$; метеорологические факторы; тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная. Базовое уравнение позволяет конкретизировать высоту этажа здания, где концентрация загрязняющего вещества будет максимальной с наветренной и подветренной сторон здания от источника, а также произвести сводный расчет величин концентраций при учете нескольких источников выброса в атмосферу. Экспериментальные исследования позволили получить поправочные коэффициенты к разработанной модели и учитывать тип локальной застройки.

4. Входящими параметрами модели вертикального распределения концентрации от передвижного источника выброса (автомагистрали) являются: расстояние от магистрали до здания R_i, м; высота здания H, м; интенсивность автомагистрали I, авт./ч: до 500; свыше 500 до 1000; свыше 1000 до 2000; свыше 2000; метеорологические факторы в зимний и летний периоды; тип локальной застройки*:* периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная. Результатом решения модели являются величины безразмерных концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1—C5) в любой точке по высоте здания с наветренной и подветренной сторон здания от источника с учетом поправочных коэффициентов.

5. Сделан сравнительный анализ результатов расчетов концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с помощью усовершенствованной модели распределения концентраций с учетом типа локальной застройки и общепринятой методики МРР 2017 от точечных источников выброса разной высоты. На уровне первого этажа методика занижает величину концентрации газообразных загрязнителей до 35 %, на уровне середины здания — до 25 %, на уровне последнего этажа — до 15%. Расхождение значительно на уровне 1,5—2 м, что составляет без учета типа застройки и эффекта суммации концентраций и перемещения масс от автомагистралей до 35—40 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антропов К. М.* Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2012. 194 с.

2. *Бабков В. С.* Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». 2011. Вып. 13(185). С. 147—155.

3. Кузьмичев А. В., Диденко В. Г. Обобщающая математическая модель распространения вредных токсичных веществ в воздушной среде: материалы II Международной науч.-практич. конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». Волгоград, 2004. С. 16—19.

4. *Литвинова Н. А.* Улучшение качества воздушной среды помещений с учетом качества наружного воздуха. Тюмень: ТИУ, 2019. 150 с.

5. Кузьмичев А. А., *Азаров В. Н.* Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятие строительных конструкций и памятников архитектуры // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 1. С. 86—96.

6. *Донцова Т. В., Храпов С. С., Азаров В. Н.* О моделировании динамики переноса примесей в атмосфере городов // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 12. С. 67—72.

7. Владимиров Е. А. Численное моделирование распространения пассивной примеси в атмосфере // Метеорология и гидрология. 1999. № 7. С. 22—34.

8. Predicting Indoor Concentrations of Black Carbon in Residential Environments / K. Isiugo, R. Jandarov, J. Cox, S. Chillrud, S.A. Grinshpun, M. Hyttinen, M. Yermakov, J. Wang, J. Ross, T. Reponen // Atmos Environ. 1994. Pp. 223—230. DOI: 10.1016 / j. атмосфера.2018.12.053.

9. Simulation of pollution transport in buildings: the importance of taking into account dynamic thermal effects / J. Taylor, C. Shrubsole, P. Biddulph, B. Jones, P. Das, D.J. Maylor, C. Shrubsole, P. Biddulph, B. Jones, P. Das, M. Davies // Build Serv Eng Res. 2014. Vol. 35. Iss. 6. Pp. 682—690.

10. Влияние метеорологических условий на распространение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе примагистральных территорий / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, Т. В. Соловьева, А. А. Сахарова, О. О. Иванова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 311—316.

11. Исследование климатических параметров как факторов, влияющих на загрязнение городской воздушной среды линейного города / Ю. П. Иванова, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, М. Д. Азарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 214—219.

12. Проверка выполнения закона Вейбулла для различных направлений ветра, характерных для линейного города Волгограда / Ю. П. Иванова, Е. В. Соколова, А. А. Сахарова, В. Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 134—141.

13. Emissions modeling and analysis of air pollution measurements / F. Kelly, H. R. Anderson, B. Armstrong, R. Atkinson, B. Barratt, S. Beevers, D. Derwent, D. Green, I. Mudway, P. Wilkinson // HEI Health Review Committee. Res Rep Health Eff Inst. 2011. Iss. 155. Pp. 5—71.

14. Gallego E., Roca F. X, Guardino X., Rosell M. G. Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas // Journal of Environmental Sciences. 2008. Vol. 20. Iss. 9. Pp. 1063—1069.

15. *Чернявский С. А*. Исследование трансформаций химических примесей в атмосфере и оценка экологического риска как условие повышения информативности системы мониторинга: дис. … канд. техн. наук. М., 2015. 136 с.

16. *Zannetti P.* Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. Air pollution. Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993. Pp. 3—14.

17. *Persily A. K., Emmerich S. J*. Indoor air quality in sustainable, energy efficient buildings // HVAC & R Research. 2012. Vol. 18. Iss. 1—2. Pp. 4—20.

18. *Cyrys J., Peters A., Soentgen J., Wichmann H*. Low emission zones reduce PM10 mass concentrations and diesel soot in German cities // Air Waste Manag Assoc. 2014. Vol. 64. Iss. 4. Pp. 481—487.

19. The effect of opening windows on air change rates in two homes / C. Howard-Reed, L. A. Wallace, W. R. Ott, C. Howard-Reed, L. A. Wallace, W. R. Ott // Air Waste Manage. 2002. Vol. 52. Pp. 147—159.

20. *Степаненко С. Н.* Динамика турбулентно-циркуляционных и диффузионных процессов в нижнем слое атмосферы. Одесса: Одесский государственных экологический ун-т, 1998. 280 с.

© *Литвинова Н. А., Азаров В. Н., 2021*

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Литвинова Н. А., Азаров В. Н. О модели вертикального распределения концентраций загрязняющих веществ по высоте зданий с учетом типа локальной застройки // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 108—121.

Об авторах:

Литвинова Наталья Анатольевна — канд. техн. наук, доц., проф. каф. техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625005, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; litviniva2010@yandex.ru

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ptb2006@mail.ru

Natalia A. Litvinova[a], Valerii N. Azarov[b]

[a] Tyumen Industrial University
[b] Volgograd State Technical University

ON THE MODEL OF THE VERTICAL DISTRIBUTION OF CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS BY THE HEIGHT OF BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE TYPE OF LOCAL DEVELOPMENT

The article considers the developed model of the vertical distribution of concentrations of polluting gaseous substances over the height of buildings, taking into account the type of local development in the urban environment from sources of emission into the atmosphere: based on the general Gauss equation from point sources and from mobile sources using the Burgers gas flow transfer equation. The model is obtained on the basis of long-term experimental studies from 2008—2020 of the vertical distribution of concentrations of gaseous pollutants over the height of a building in an urban environment. The correction coefficients of taking into account the type of local development (lowercase, vertical, end, end at an angle, mixed) from highways of different traffic intensity and from point sources of emission are justified. A comparative analysis of the results of calculations of concentrations of gaseous pollutants by the height of buildings using a simplified air quality model, taking into account the local type of development and the generally accepted method for calculating the dispersion of emissions into the atmosphere.

K e y w o r d s: vertical distribution model, concentrations, polluting gaseous substances, point source, mobile source, type of local development, urban environment.

For citation:

Litvinova N. A., Azarov V. N. [On the model of the vertical distribution of concentrations of pollutants by the height of buildings taking into account the type of local development]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 108—121.

About authors:

Natalia A. Litvinova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Tyumen Industrial University. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625005, Russian Federation; litviniva2010@yandex.ru

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ptb2006@mail.ru

УДК 504.06, 303.732.4

В. Ф. Сидоренко[а], А. В. Игнатьев[а], А. А. Аброськин[б], О. А. Ганжа[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] САО «ВСК»

РАЗРАБОТКА И АКТУАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА ГОРОДА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЖИВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области. Проект № 19–47–340001.

В статье рассматривается возможность использования результатов экологического мониторинга атмосферного воздуха для принятия экологически обоснованных архитектурно-строительных решений при разработке, актуализации и реализации генерального плана города. Также рассматриваются факторы, возникающие при реализации генплана, которые оказывают влияние и на систему экологического мониторинга атмосферного воздуха, требующие корректировки мест расположения постов наблюдения и контролируемых веществ.

К л ю ч е в ы е с л о в а: система экологического мониторинга атмосферного воздуха, комплексная экологическая безопасность, устойчивое развитие города, генеральный план города.

В условиях современного крупного города вопросы обеспечения комплексной экологической безопасности приобретают первостепенную значимость. Экологические проблемы крупных городов связаны с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий с образованием антропогенных ландшафтов, что приводит к увеличению техногенной нагрузки на территорию.

Неблагоприятная экологическая обстановка, в свою очередь, негативно влияет на состояние среды непосредственного проживания человека и его здоровье. Согласно данным ООН, более половины городского населения мира дышит воздухом, содержащим загрязнения, в 2,5 раза превышающие нормы ВОЗ [1].

В 1996 г. Россия официально подтвердила свое участие в реализации общемировой концепции устойчивого развития[1], которая среди своих основных целей (обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов) предполагает в рамках общей экологизации урбанизированных территорий устойчивую биопозитивную реконструкцию мест расселения, зданий и инженерных сооружений с превращением города в экополис — целостную пространственно-экологическую систему [2—7].

Но несмотря на то что городская среда отнесена к основным направлениям стратегического развития России, по данным Минстроя в 2019 г. только треть российских городов признаны комфортными для жизни граждан[2].

[1]Указ Президента Российской Федерации «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» от 1 апреля 1996 г. № 440.

[2]Почти 27 % российских городов признаны комфортными для жизни граждан // Минстрой России. URL: https://minstroyrf.gov.ru/press/pochti-27-rossiyskikh-gorodov-priznany-komfortnymi-dlya-zhizni-grazhdan.

Возросшее техноантропогенное воздействие на окружающую среду вызвало необходимость экологизации проектирования и строительства. Экологически обоснованные архитектурно-строительные решения на всех этапах планирования, проектирования, строительства и эксплуатации населенных мест являются непременным условием градостроительного развития города [8—10].

В Градостроительном кодексе РФ устойчивое развитие территорий определятся как «обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений»[3].

Одним из основополагающих документов, обеспечивающих устойчивое развитие города, является его генеральный план, который представляет собой проектный документ, на основании которого осуществляются планировка, застройка, реконструкция и иные виды градостроительного освоения территорий и градостроительной деятельности.

Оптимальная пространственная организация территории должна основываться на изучении и оценке ряда факторов природного, социального и техноантропогенного характера, в том числе экономико-географического положения территории, природных, промышленных и демографических ресурсов, земельного и водного фондов, экологического состояния.

Разрабатываемые в настоящее время генеральные планы городов должны отражать установки на обеспечение экологической безопасности городов как одного из главных условий обеспечения устойчивого развития, так как эта направленность генеральных планов зафиксирована государственной градостроительной политикой. Однако в настоящее время на практике зачастую имеет место несоответствие разрабатываемых генеральных планов отечественных городов установкам государственной градостроительной политики, поэтому для принятия экологически обоснованных решений при их разработке и корректировке необходимо использование системы экологического мониторинга атмосферного воздуха.

Процедура внесения изменений в генеральный план определена действующим Градостроительным кодексом[4], поскольку город является динамически развивающейся экологической системой, и в зависимости от развития градостроительной ситуации (освоение новых территорий, создание новых объектов транспортной и инженерной инфраструктуры и др.) необходима актуализация генерального плана города, которая проводится, как правило, раз в 5—10 лет.

Реализация генерального плана вносит изменения в систему мониторинга атмосферного воздуха (мест расположения точек наблюдения), а данные мониторинга позволяют использовать их для размещения градостроительных объектов при реализации и разработке нового генплана (рис. 1).

[3]Закон Российской Федерации «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (в ред. от 30.12.2020).

[4]Там же.

Рис. 1. Влияние системы мониторинга атмосферного воздуха при планировании, корректировке и реализации генплана города

Так, градостроительное развитие города (появление новых районов, точечная застройка, изменение типа застройки) может привести к изменению аэрационного режима и уровней загрязнения атмосферного воздуха на территории города.

При появлении новой застройки возможно возникновение новых источников загрязнения воздуха — систем отопления (котельных).

Постоянно происходящее изменение транспортных потоков также приводит, как правило, к негативному изменению состояния воздушной среды города, что требует реализации защитных градостроительных мероприятий.

Озеленение территорий (зеленые насаждения общего, ограниченного пользования, специального назначения), безусловно, положительно влияет на качество воздушной среды города.

Градостроительное развитие приводит к образованию или изменению и «мест тяготения» — торговых, развлекательных центров, спортивных и рекреационных объектов.

Все вышеперечисленные факторы оказывают влияние на систему мониторинга атмосферного воздуха: с учетом изменений градоэкологической ситуации на территории города могут корректироваться места расположения постов наблюдения, контролируемые вещества, а результаты мониторинга при изменяющихся городских условиях необходимо, в свою очередь, учитывать при разработке и корректировке генеральных планов городов.

Для реализации такого взаимодействия системы экологического мониторинга атмосферного воздуха и работ по разработке и актуализации генерального плана предполагается систематически проводить следующие работы:

– выявление и характеристика приоритетных источников загрязнения городской среды, в том числе новых и/или изменяющихся (промышленные предприятия, автомобильный транспорт, объекты нового строительства или сноса зданий и сооружений, неблагоустроенные территории);

– оценка типа застройки и планировочных особенностей и благоустройства изучаемой территории города, в том числе изменений;

– построение и корректировка моделей влияния метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха от основных источников в условиях жилой застройки;

– выявление «зон риска» (наибольшего загрязнения) на карте города при данном состоянии застройки и благоустройства территории при изменениях направления (по всем румбам) и скорости ветра;

– категорирование территории по степени тяжести экологической ситуации (выделение благоприятных зон, зон усиленного экологического мониторинга, неблагоприятных зон) с учетом сезонных изменений метеорологических условий, длительности возможного формирования высоких уровней загрязнения воздуха при сочетании воздействия всех учитываемых факторов;

– формирование рекомендаций для принятия управленческих решений в зависимости от категорирования территории: необходимость немедленных мер по снижению негативного воздействия антропогенных факторов, определение благоприятных территорий для размещения социальных объектов;

– использование полученных данных при актуализации генерального плана города и реконфигурации размещения стационарных и мобильных постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха.

Одно из направлений совершенствования систем экологического мониторинга — сочетание использования репрезентативных натурных данных и методов моделирования [8].

Для получения представления о распространении загрязняющих веществ от автомобильного транспорта в условиях городской застройки может быть использовано сочетание исследований об интенсивности движения автомобильного транспорта и расчета рассеивания загрязняющих веществ в соответствии с ГОСТ Р 56162—2019[5] с применением зависимостей, полученных методом моделирования (метод натурного эксперимента), для различных видов застройки. Расчеты рассеивания от стационарных источников загрязнения строятся в соответствии с методикой, утвержденной приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»[6]. Для получения картины рассеивания загрязняющих веществ на карте города строятся модели рассеивания от всех основных источников (автотранспорт, промышленный источник, неблагоустроенные территории) в условиях существующей жилой застройки с учетом типа застройки) для различных метеорологических условий по 8 румбам. Пример модели рассеивания от основных источников при южном направлении ветра представлен на рис. 2. При этом для определения типа застройки может быть использован разработанный нами модуль распознавания типа застройки [11].

[5] ГОСТ Р 56162—2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории; введ. 01.01.2020. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.

[6] Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». (Зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 № 47734).

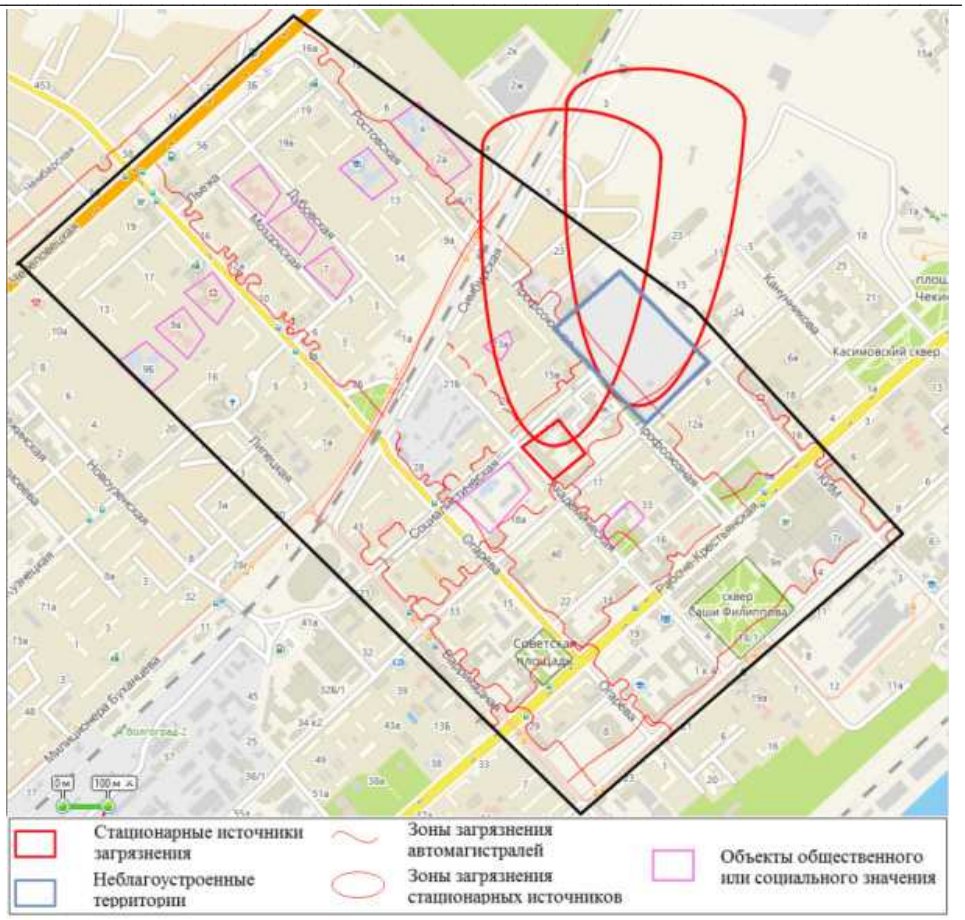


Рис. 2. Модели рассеивания от основных источников при южном направлении ветра

Управление развитием города должно быть основано на анализе градостроительной деятельности на всех стадиях: от разработки проекта до многолетнего мониторинга при эксплуатации и реконструкции.

С этой целью на основе комплексной оценки данных, полученных в результате обоснованной динамической системы мониторинга атмосферного воздуха, на территории изучаемых районов нами было предложено выделение трех типов категорий селитебных территорий [8]:

– зона экологического благополучия (ЗЭБ);

– зона усиленного экологического мониторинга (ЗУМ) — относительно благоприятная территория;

– зона экологической опасности (ЗЭО).

Для категорирования предлагается использовать такие критерии, как наличие или отсутствие загрязнений, уровни превышений ПДК по отдельным загрязнителям окружающей среды и по результатам комплексной оценки, уровень благоустройства территории, длительность (время) действия наиболее неблагоприятных условий на территории.

В зависимости от результатов оценки и категорирования территории решается вопрос о возможности безопасного размещения градостроительных

объектов: жилой застройки, детских дошкольных и школьных учреждений, лечебно-профилактических учреждений, рекреационных зон, а отнесение территории к зонам экологической опасности предполагает необходимость принятия неотложных управленческих решений по снижению негативного воздействия факторов окружающей среды.

Дополнительная балльная система оценки степени влияния источника загрязнения на качество атмосферного воздуха с учетом объема выбросов и сезонности воздействия позволяет провести скрининговую комплексную оценку воздействия возможных источников загрязнения атмосферного воздуха, а также выделить приоритетный источник загрязнения для данной территории при конкретных метеорологических условиях с учетом времени воздействия.

Предлагаемая модель системы мониторинга атмосферного воздуха может быть экстраполирована на любую территорию малого, среднего и крупного населенного пункта с различным набором источников загрязнения атмосферного воздуха. Для реализации модели и построения системы мониторинга территория крупного промышленного города может быть разделена на участки с различным количеством и набором источников загрязнения: территория, где присутствует один источник (автомобильный транспорт), два источника (транспорт и промышленные предприятия или транспорт и неблагоустроенные территории) либо все три источника (рис. 3).

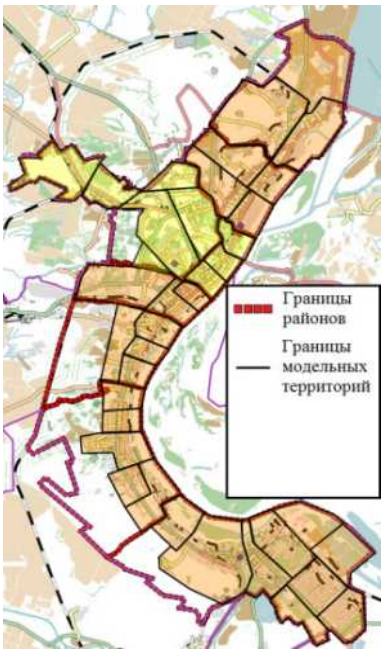


Рис. 3. Деление территории города для разработки и реализации системы мониторинга атмосферного воздуха

Данные системы мониторинга состояния атмосферного воздуха, а также результаты категорирования территории по степени экологического благополучия необходимо использовать с целью принятия приоритетных управленческих решений по улучшению качества городской среды и безопасного размещения новых объектов строительства, особенно детских образовательных учреждений и объектов здравоохранения.

В связи с этим важным фактором формирования безопасной экологичной среды и оптимальных условий проживания при градостроительном развитии является тесное взаимодействие и учет совершенствования системы экологического мониторинга атмосферного воздуха при разработке и актуализации генерального плана города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов / Организация Объединенных Наций. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cities/

2. *Алпацкая Е. Г.* Территориальное планирование: основные подходы // Вестник ЧелГУ. 2013. № 3(294) Управление. Вып. 8. С. 5—8.

3. *Алпацкая Е. Г.* Современные подходы и этапы территориального планирования в муниципальном образовании // Вестник ЧелГУ. 2015. № 1(356) Управление. Вып. 10. С. 5—7.

4. *Герцберг Л. Я., Будилова Е. В.* Проблемы территориального планирования и качество среды проживания // Народонаселение. 2015. № 1. С. 37—49.

5. *Гусев И. А*. Генеральный план как инструмент устойчивого территориального развития // Огарев-online. 2015. № 7. URL: http://journal.mrsu.ru/arts/generalnyjj-plan-kak-instrument-ustojjchivogo-territorialnogo-razvitiya.

6. *Шадрина А. В., Колясников В. А.* Формирование системы комплексного обеспечения безопасности в градостроительстве // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 12—15.

7. *Усачева О. А.* Российские концепции экологизации городов // Россия и мир: глобальные вызовы и стратегии социокультурной модернизации. Материалы Международной науч.-практич. конф. (Москва, 12—13 октября 2017 г.) / отв. ред. А. В. Тихонов. М.: ФНИСЦ РАН, 2017. С. 726—732.

8. *Сидоренко В. Ф., Игнатьев А. В., Аброськин А. А.* Формирование системы экологического мониторинга атмосферного воздуха с учетом градостроительного развития населенных мест. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. 132 с.

9. *Ignatyev A. V.* Methodology for comprehensive assessment of atmospheric air state in populated areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. Iss. 4. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/4/042048/pdf.

10. *Игнатьев А. В., Чумаков А.В., Удо И. Э.* Разработка методики комплексной оценки основных источников загрязнения и факторов, влияющих на состояние атмосферного воздуха населенных мест // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Естественные и технические науки. 2020. № 6. С. 88—93.

11. *Игнатьев А. В., Гилка В. В., Матыцына Д. А*. Автоматическое распознавание типа застройки для системы экологического мониторинга // Инженерный вестник Дона. 2020. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6266/

© Сидоренко В. Ф., Игнатьев А. В., Аброськин А. А., Ганжа О. А., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Разработка и актуализация генерального плана города во взаимодействии с совершенствованием системы экологического мониторинга атмосферного воздуха для обеспечения оптимальных условий проживания / В. Ф. Сидоренко, А. В. Игнатьев, А. А. Аброськин, О. А. Ганжа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 122—129.

Об авторах:

Сидоренко Владимир Федорович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-4895-0094; kafedra_urbanistika14@mail.ru

Игнатьев Александр Владимирович — д-р техн. наук, доц., проф. каф. цифровой экономики и технологий управления в городском хозяйстве и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alignat70@yandex.ru

Аброськин Алексей Андреевич — канд. техн. наук, ведущий тестировщик, САО «ВСК». Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 56а; aleksey.abroskin@inbox.ru

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ganzha_olga@mail.ru

Vladimir F. Sidorenko[a], Alexander V. Ignatyev[a], Aleksey A. Abroskin[b], Ol'ga A. Ganzha[a]

[a] Volgograd State Technical University
[b] JSIC "VSK"

DEVELOPMENT AND UPDATE OF THE CITY GENERAL PLAN IN INTERACTION WITH IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR TO ENSURE OPTIMAL LIVING CONDITIONS

This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Volgograd Region. Project No. 19–47–340001

The article discusses the possibility of using the results of environmental monitoring of atmospheric air for making environmentally sound architectural and construction decisions in the development, updating and implementation of the master plan of the city. The factors that arise during the implementation of the general plan are also considered, which also affect the system of environmental monitoring of atmospheric air, which may require adjusting the locations of observation posts and controlled substances.

K e y w o r d s: system of environmental monitoring of atmospheric air, integrated environmental safety, sustainable city development, city master plan.

For citation:

Sidorenko V. F., Ignatyev A. V., Abroskin A. A., Ganzha O. A. [Development and update of the city general plan in interaction with improvement of the environmental monitoring system of atmospheric air to ensure optimal living conditions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 122—129.

About authors:

Vladimir F. Sidorenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4895-0094; kafedra_urbanistika14@mail.ru

Alexander V. Ignatyev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; alignat70@yandex.ru

Aleksey A. Abroskin — Candidate of Engineering Sciences, JSIC "VSK". 56a, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; aleksey.abroskin@inbox.ru

Ol'ga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ganzha_olga@mail.ru

УДК 747.012:725.8

Ю. П. Горошко, С. А. Матовников, В. С. Волков

Волгоградский государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЕМЫ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИГРОВОЙ СРЕДЫ РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Проанализированы концептуально-декоративные и игровые приемы в развлекательных центрах. Выявлены различные способы благоустройства интерьера для привлечения внимания посетителей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дизайн, игровая среда, интерьер, развлечения, развлекательный центр, дизайнерские приемы.

Выбор развлечений у современного человека очень многообразен. Экономика развлекательной индустрии имеет многомиллиардный доход [1].

Развлечение — это действие, направленное на получение удовольствия. Источником удовольствия является красивая музыка, вкусная еда, аттракционы и т. д. Важную роль играет не только источник, но и обстановка, интерьер, которыми занимается дизайнер.

Получение развлечений может быть пассивным и активным. Пассивные развлечения подразумевают под собой получение нужных эмоций за счет минимальной активности. К примеру, наблюдение за игрой, просмотр телевизора, чтение книги. Но активные развлечения дают гораздо больше приятных впечатлений [2].

Согласно недавним исследованиям, во время игры происходит такое сильное выделение дофамина, что оно сравнимо с выделением при употреблении наркотиков. Игры, нацеленные на активную физическую деятельность, всегда сопровождаются эмоциональным подъемом и приливом эндорфина. Находясь в центре событий и являясь их участником, человек получает совершенно другой уровень впечатлений. Наблюдение не дает сопоставимого уровня эмоционального возбуждения [3].

Современная городская цивилизация требует все меньше активности не только в работе, но в получении различных видов досуга. Возникает первая проблема — человек все более пассивен как физически, так и умственно. Задачей дизайнера становится создание и благоустройство такой среды, куда люди потянутся, выйдут из зоны комфорта [4].

Активный отдых в Волгограде очень часто является сезонным. Появляется такая проблема, как неуниверсальность предлагаемых развлечений, которые не актуальны в определенные времена года. Чтобы предоставить посетителям разные виды активного отдыха, существуют специальные центры, в которых реализация различных видов развлечений происходит в закрытых помещениях.

Развлекательный центр — это совокупность объектов торговли, услуг, питания и развлечений, подобранных в соответствии с концепцией и осуществляющих свою деятельность в специально спланированном здании, находящемся в профессиональном управлении и поддерживаемом в виде единой

многофункциональной структуры. Такие центры включают большое количество подразделений, от обычных магазинов до масштабных аттракционов [5].

В зависимости от возраста развлечения предназначены для детей, людей среднего и старшего возраста. Для каждой группы требуется разное оборудование, имеющее разную экономическую эффективность. Развлечения для молодежи обустраиваются без особых ограничений в отличие от развлечений для детей, для которых важна безопасность [6].

Существует такое понятие, как специализированные развлекательные центры с ярко выраженной целевой направленностью при незначительном участии услуг другого рода (например, фуд-кортов, торговли товарами). Сочетание 2—3 направлений развлечений плюс территория для отдыха является наиболее привлекательным местом для посетителей. Центры узкой направленности могут оказывать услуги на очень высоком уровне за счет своей специализации.

Цель смешанных центров — предоставить как можно больше услуг, которые востребованы; развлекательный аспект идет скорее как приложение, чем основная функция [7].

Узкоспециализированные развлекательные центры манят своей атмосферой, в которой посетитель полностью погружается в мир игры. Одним из важных элементов является общее впечатление, которое формируется с помощью интерьера, света, декораций и создается руками дизайнера. Самый распространенный способ предоставить такую среду — создать квест, в котором будет развиваться самостоятельный сюжет, т. е. посетитель попадет в целую цепочку событий, сопровождающуюся играми, преодолением трудностей, задействованием физических и умственных способностей. Самый главный аспект — это хорошо продуманный сюжет, который требует особого художественного подхода, оформления, необычных локаций, сменяющихся в процессе игры. Целью игры может стать поиск выхода или клада с призами для участников [7]. Сюжет как отдельный прием придает особую атмосферу, делая посетителя главным героем, вовлекая в историю с самостоятельным ходом событий. Человек неосознанно, словно ведомый за ниточки, становится участником, а не наблюдателем. Сценарий может меняться в зависимости от сезона в коммерческих целях, привлекая большее количество людей, следовательно, меняется и интерьер[1].

Несмотря на разнообразие центров, видов развлечений и их особенностей, художественный образ не притягивает человека. Современные интерактивные мероприятия переносятся в жилища (игры, тренажеры), при этом их использование не принесет тех впечатлений, которые предлагаются в развлекательных центрах. Необходимо выявить такие дизайнерские приемы, с помощью которых можно создать интересный и необычный интерьер целого комплекса развлечений, в который люди потянуться, преодолевая свою пассивность [8].

Рассмотрим несколько примеров организации центров активного отдыха и развлечений.

Одним из примеров служит **Meow Wolf** в Санта-Фе (США), также известный как «Дом вечного возвращения». Это частично тренажерный зал в

[1]Rock Up & Climb Hull. URL: https://theyorkshiredad.com/rock-up-climb-hull.

джунглях, частично «дом с привидениями», частично детский музей и частично иммерсивная художественная выставка, где все можно трогать, нюхать, перемешать предметы, искать подсказки.

Аттракцион, расположенный в бывшем боулинг-клубе, был профинансирован известным писателем-фантастом и автором «Игры престолов» Джорджем Мартином[2].

Для того чтобы создать определенную атмосферу, создатели придумали легенду о том, что «Дом вечного возвращения» сосредоточен вокруг истории семьи Селиг, которая якобы исчезла после экспериментов с межпространственными путешествиями, прибегнув к таинственной силе, известной как «Аномалия», в попытке вернуть умерших членов семьи, в результате чего в доме возникли трещины. По сюжету секретная правительственная организация под названием «Хартия» предотвратила разрушительные последствия «Аномалии» и выдала место происшествия за художественную инсталляцию, которая похожа на сочетание фантазийных пространств в параллельной вселенной.

На основе этой истории создатели эмоционально вовлекают в сюжет. Посетителю предлагается с помощью исследования улик и подсказок, разбросанных по всему дому, узнать, что произошло с семьей Селиг. Основная задача — отыскать проход или тайную дверь в следующий зал. Для этого используются различные декоративные приемы. К примеру, как проход между инсталляциями используются камин, через который посетитель, стремясь к фиолетовому свечению, пролезает в скелет динозавра (рис. 1), на костях которого можно сыграть мелодию, используя специальные палочки. Звуковое наполнение наравне с подсветкой делают интерьер психоделическим (рис. 2).

Рис. 1

Рис. 2

Используется прием устройства необычных проемов между помещениями: как проход в следующую комнату задействован холодильник, с другой стороны «двери» посетитель вылезает из стиральной машинки, чтобы продолжить путь (рис. 3 и 4).

[2]Meow Wolf: enter the hallucinatory dreamworld funded by ‘Game of Thrones’ creator George RR Martin. URL :https://dangerousminds.net/comments/enter_the_ hallucinatory_dreamworld_of_santa_fes_meow_wolf?utm_source=Dangerous+Minds+newsletter &utm_campaign=1d9589b549-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_ ecada8d328-1d9589b549-65858297.

Рис. 3

Рис. 4

Оптические иллюзии или совмещение несовмещаемого встречаются в каждой комнате: в ванной через отверстие в унитазе можно увидеть человеческое лицо (рис. 5).

Рис. 5

«Дом вечного возвращения» — это странные помещения с психоделической расцветкой, непонятными предметами и доносящейся из ниоткуда музыкой. Каждый участник выбирает собственный путь, идя, лазая и ползая по этой мультивселенной. Ориентируясь на придуманную создателями легенду, участник складывает в голове свою собственную историю с помощью необычных дизайнерских и планировочных приемов, таких как пугающие иллюзии, необычные проходы, музыкальное сопровождение, цветовое решение [9].

В Ханчжоу (Китай) существует красочный семейный парк **Shenzen Neobio** (рис. 6 и 7). Он имеет особое планировочное решение, благодаря которому родители могут следить за своими детьми. Центральная часть — зона для отдыха, питания и развлечений. Другая часть создана специально для детей — это город с магазинами, парковками, кафе, стоматологией, которые выполняют только игровую функцию. Образовательная зона — комната для чтения[3].

[3]Shenzen Neobio Family Park – miasto marzeń dla dzieci. URL: https://plndesign.pl/shenzen-neobio-family-park-miasta-marzen-dla-dzieci/

Цветовое решение выполнено в пастельных тонах, розовых, мягких красных, голубых и синих. Мягкие изгибы элементов, геометрические узоры делают пространство сказочным. Человек видит себя героем мультфильма благодаря дизайнерским и планировочным решениям.

Рис. 6

Рис. 7

Как развлекательный прием, привлекающий внимание и создающий атмосферу, используется длинная спиральная горка, спуск по которой заканчивается бассейном, заполненным шариками, а сама горка покрыта геометрическим узором из черных точек на белом фоне. Лестницы с округлыми прозрачными коридорами ведут на верхние этажи города, откуда видны различные уголки пространства.

Округлые окна, напоминающие иллюминаторы, — неотъемлемая часть всех небольших магазинов. С помощью этой детали родители постоянно могут наблюдать за своим ребенком, при этом сохраняется элемент игры.

Иллюзорный характер интерьеру придают огромные разноцветные зонты с узорами, возвышающиеся над миниатюрным городом.

Парк совершенно не дает повода вспомнить, что за стеной есть реальный мир, не похожий на этот. Каждая деталь ведет посетителя дальше, невидимыми нитями прокладывая маршрут, помогая обозреть все уголки. Достигается это с помощью таких приемов, как нарушение масштаба, использование светлых цветов, фантастических форм.

Mondodo Kids Town в Китае ориентирован на младшую аудиторию. Главная идея состоит в том, чтобы стимулировать скрытый потенциал и мышление детей. Целью дизайна является развитие творческих способностей и познавательной активности дошкольников. Соотношение игры с реальным миром показано с помощью разнообразных приемов.

Интерьер входного пространства решается как аэропорт. Дизайн, наполненный многочисленными элементами, такими как часы с указанием времени различных стран, багажная лента, доска объявлений, сувенирный магазин, заставляет почувствовать предвкушение поездки в новый мир (рис. 8). Интерьер вестибюля отличается ярким цветовым контрастом, геометрическими узорами и линиями, множеством точек. Акцентную роль в атмосфере играет пол, на котором многоцветные линии наносятся для разделения пространства, устанавливая связи и визуальные подсказки.

Рис. 8

Прием размещения принтов используется в игровом зале, который выполнен в классических черных и белых цветах, а также в ярких золотых и красных оттенках[4]. Вместе с узорами они гармонируют со сложной текстурой пространства. Этот прием вместе со световыми эффектами создает ощущение видеоигры (рис. 9).

Рис. 9

[4]Mondodo Kids Town Jiaxing Store. URL: https://archello.com/project/mondodo-kids-town-jiaxing-store.

Внутренние объекты включают различные функции: выступление на сцене, физическая активность (боксерская игра), область аудиовизуального чтения. С помощью планировочных решений выделяется область, где задействована мозговая и физическая активность, и область с местами для отдыха.

Благодаря дизайнерским решениям дети получают бесконечное пространство для воображения и желание исследовать. Самые обычные объекты похожи на элементы компьютерной игры. Например, горка напоминает хвост слона и ведет к бассейну с шариками, из которого видно башню, напоминающую двухслойный торт (рис. 10).

Рис. 10

В парке применяются такие приемы, как сочетание цвета и текстуры, использование световых эффектов, имитация городских объектов под развлекательные площадки.

Рассмотрим развлекательный центр другого направления, а именно аквапарк **Beijing Water Cube Water Park.** Парк водных развлечений внутри Water Cube (КНР) вмещает 6000 человек. Здание носит говорящее название, так как похоже на куб из мыльных пузырей (рис. 11). Комплекс оборудован волновыми машинами, скоростными горками и аквалупами, на территории также есть кафе, развлекательные центры и VIP-ложи.

Рис. 11

Фасад здания покрыт специальными панелями, аккумулирующими до 90 % солнечной энергии, которая дальше направляется на подогрев воды в бассейнах. Здание способно собирать дождевую влагу для нужд аквапарка, нагреваться и охлаждаться[5].

Главная особенность в оформлении интерьера — использование образов подводного мира. Осветительные приборы по форме полностью повторяют медуз, парящих над головами. Водные горки напоминают щупальца осьминога. Коралловые рыбы, пузыри воздуха устремляются вверх, создавая ощущение погружения на глубину. Вся атмосфера поддерживается специальными световыми эффектами, голубыми и фиолетовыми оттенками, плавными изгибами конструкций (рис. 12).

Рис. 12

Парк рассчитан на посетителей разного возраста и подстраивается под предпочтения каждого. Для спокойного отдыха используется обычный бассейн, для экстремального — зона с высокими и крутыми горками. В северной части здания есть спа-бассейн с гидромассажем.

Как прием для привлечения внимания в самом центре комплекса расположена сцена, на которой проводятся развлекательные шоу, а за сценой — экран, на котором демонстрируют различные программы, фильмы и даже трансляции того, что происходит в аквапарке.

Приемы: разделение пространства на аттракционы для различных групп посетителей, ограниченная цветовая гамма, имитация элементов интерьера под обитателей подводного мира.

Интерактивная площадка свободного доступа **Twin Waves** в HKRI Taikoo Hui расположена в центре Шанхая (Китай).

Инсталляция состоит из двух почти идентичных развлекательных волнообразных платформ, образующих два искусственных холма, которые обеспечивают различные интерактивные действия с обеих сторон.

Прежде всего, главная функция — игровая. Две волны спроектированы таким образом, что с одной стороны посетитель взбирается вверх, а с другой скатывается в бассейн с шариками (рис. 13 и 14). Обе волны спроектированы с функциональной графикой на поверхностях, что визуально делает платформы интереснее. Акцент делается на графическом оформлении, напоминающем разметку проезжей части, цветовые круги и т. д.[6]

[5]National Aquatics Center (Water Cube). URL: https://www.travelchinaguide.com/attraction/beijing/water-cube.htm.

[6]Twin Waves. URL: https://100architects.com/project/twin-waves/

Рис. 13

Рис. 14

Другая функция — общественная. Одна из волн включает в себя амфитеатр в виде ступеней для небольших мероприятий, представлений или общественных собраний на одной стороне холма и гладкий склон на другой стороне (см. рис. 13).

В тоннеле под платформами мешки с фасолью на полу заменяют типичные сидения или подушки и представляют собой места для отдыха.

Проект был создан для заполнения пространства в торговом центре и привлечения людей. Эта многофункциональная платформа является местом для встреч, так как находится в самом центре торгового пространства, которое видно со второго этажа [9].

Приемы: многофункциональность использующихся элементов, активное графическое наполнение, цветовое решение.

Существует такой прием, как совмещение игровой деятельности с обычной торговой функцией комплекса. На втором этаже ТЦ «The Place» (Китай) расположен **Jungle Race,** предназначенный для восстановления редко используемых зон в торговом центре. Особый акцент в этом проекте уделяется коридорам, где нет коммерческих витрин и мало посетителей. Для того чтобы сделать это пространство посещаемым, используются специальные приемы в оформлении.

Рис. 15

2D-графика является основным приемом в дизайне, предлагая ориентированный на детей путь в ходе движения взрослых (рис. 15). Jungle Race — креативная и сюрреалистическая гоночная трасса на всем этаже торгового центра, которая отличается ярким цветовым наполнением и захватывающей графикой[7].

Пространство спроектировано как путь, на протяжении которого встречаются различные предметы, такие как светофор, который включается, стоит ребенку на машинке приблизится, джунгли, животные (рис. 16). Необычной деталью является способность элементов залезать на стены, тянутся по потолку и спускаться обратно вниз.

Рис. 16

То, что было раньше мало посещаемым коридором, — теперь самостоятельный маршрут с собственным ритмом событийных ситуаций и интерактивных элементов, которые должны пройти как дети, так и взрослые. Приемы: активное использование 2D-графики, искажение форм элементов, цветовое решение.

Современный дизайн предлагает огромное количество различных развлекательных приемов в интерьере. Дизайн раскован в художественном, стилистическом плане, позволяя совмещать необычные объекты воедино, создавая целостную композицию и атмосферу. Одним из приемов является подражание в интерьере какой-либо существующей или не существующей среде, например подводному миру, видеоигре, сказке и т. д. При этом используются объекты соответствующих форм и цветовой гаммы. Элементы необычного вида, интересной расцветки, с особой фактурой притягивают внимание человека. При правильном их сочетании можно создать привлекательное место для посетителей. Кроме того, значим прием многофункциональности, который позволяет использовать объект различными способами. Функциональная графика, световые эффекты, оптические иллюзии дополняют интерьер. Планировка должна быть понятной, но при этом интересной, например за счет запутанных коридоров, неожиданных путей и т. д. То есть созданная атмо-

[7]Jungle Race. URL: https://100architects.com/project/jungle-race/

сфера должна выводить человека за пределы рационализма с помощью дизайнерских решений в интерьере.

В целом атмосфера должна вызывать особый эмоциональный фон, стимулировать человека преодолеть пассивность, порождать желание прийти снова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Засканов В. Г., Савин А. Г.* Модели и методы экономической организации функционирования торгово-развлекательных центров // Управление большими системами: сборник трудов. Вып. 15. С. 122—132.

2. *Мясоедова А. А., Лепилина Т. В.* Активный и пассивный отдых студентов на острове Татышев // Физическое воспитание, спорт, физическая реабилитация и рекреация, проблемы и перспективы развития. Красноярск, 2016. С. 428—432.

3. *Батуева А. А., Хабибуллин И. М.* Влияние спортивных игр на организм человека // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. Вып. 5-1(33). С. 65—68.

4. *Matovnikov S., Matovnikova N., Samoylenko P.* The problems of designing a multifunctional courtyard space of high-rise buildings by the example of residential development in Volgograd // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. P. 9.

5. *Фетисов О. И.* «Якорные арендаторы» в торгово-развлекательных центрах: архитектурные и развлекательные аспекты // Экономика строительства и городского хозяйства. 2010. Т. 6. С. 215—219.

6. *Матовников С. А., Борзенко С. Е., Картавцева Я. С.* Дизайнерские аспекты оптимизации среды жилой детской комнаты с учетом гендерного и количественного факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 157—164.

7. *Бенаи Х. А., Фетисов О. И.* Анализ функционально-планировочных особенностей торгово-развлекательных центров // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2010. № 2(82). С. 25—31.

8. *Лукаш О. К. Н.* Мотивы и потребности покупателей как фактор проектирования торгово-развлекательных центров // Вестник МГСУ. 2010. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/motivy-i-potrebnosti-pokupateley-kak-faktor-proektirovaniya-torgovo-razvlekatelnyh-tsentrov-1.

9. *Рязанова А. А.* Формирование архитектурного пространства культурно-развлекательного центра средствами цифровых технологий // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2008. № 1. С. 67—70.

© Горошко Ю. П., Матовников С. А., Волков В. С., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Горошко Ю. П., Матовников С. А., Волков В. С. Современные приемы художественной организации игровой среды развлекательных центров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 130—141.

Об авторах:

Горошко Юлия Павловна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Матовников Сергей Алексеевич — канд. архит., профессор, зав. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikov4@yandex.ru

Волков Владимир Степанович — доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Yuliya P. Goroshko, Sergei A. Matovnikov, Vladimir S. Volkov

Volgograd State Technical University

MODERN METHODS OF ARTISTIC ORGANIZATION OF THE GAMING ENVIRONMENT OF ENTERTAINMENT CENTERS

This article analyzes the conceptual-decorative and game techniques in entertainment centers. Various ways of interior improvement to attract the attention of visitors are revealed.

K e y w o r d s: design, game environment, interior, entertainment, entertainment center, design techniques.

For citation:

Goroshko Yu. P., Matovnikov S. A., Volkov V. S. [Modern methods of artistic organization of the gaming environment of entertainment centers]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 130—141.

About authors:

Yuliya P. Goroshko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Sergei A. Matovnikov — Candidate of Architecture, Prof., Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikov4@yandex.ru

Vladimir S. Volkov — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 712.4

Н. В. Иванова[а, б], О. А. Ганжа[а], И. Ю. Подковыров[б]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] Волгоградский государственный аграрный университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЗДАНИЯ

Исследования рассматривают методические основы формирования модели вертикального озеленения зданий в концепции ландшафтной архитектуры, экологии вертикального озеленения, технологий зеленого строительства и мероприятий повышения энергоэффективности зданий. Впервые предлагается методика выбора вариантов вертикального озеленения, формирования биоразнообразия урбанизированной среды, разрешения социально-экологических проблем города и агротехнологических вопросов. Представлены архитектурно-ландшафтные решения фасадов в Волгограде.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вертикальное озеленение фасадов здания, метод анализа иерархий, подбор растений.

Введение

В мировой практике проектирования, строительства и эксплуатации зданий накоплен значительный опыт в направлении энергоэффективности зданий с использованием элементов зеленой архитектуры.

Вызывает интерес применение ландшафтных решений по вертикальному озеленению фасадов зданий, позволяющих снизить расходы на электроэнергию и улучшить состояние окружающей среды. Для регионов с резко засушливым климатом, к которым относится Волгоград, стремление совершенствовать условия окружающей среды требует важных энергосберегающих мероприятий, где активную роль начинает играть зеленое строительство.

Приемы вертикального озеленения фасадов (затенение, охлаждение стен) направлены на формирование благоприятных условий жизнедеятельности горожан, которые могут быть значительно улучшены обоснованным подбором пород растений.

Цель исследования — обоснование региональных особенностей ландшафтно-экологических решений по строительству зеленых стен в концепции вертикального озеленения

Задачи исследования:

анализ особенностей ландшафтного строительства вертикального озеленения зданий;

исследование пород растений для строительства зеленой стены зданий и выделение зон воздействия на городскую среду на примере Волгограда;

разработка принципов ландшафтного строительства в сфере вертикального озеленения города и составление модели ландшафтно-экологического строительства вертикального озеленения города;

выполнение экспериментальных разработок по проектированию вертикального озеленения на примере зданий Волгограда.

В работе используются многофакторный ландшафтно-экологический анализ, метод моделирования и экспериментального проектирования зеленого фасада в Волгограде [1].

Раскрывается содержание ландшафтно-экологического «зеленого конструктора» подбора растений для обеспечения комфортности жизненного окружения, формирования биоразнообразия урбанизированной среды, разрешения социально-экологических проблем города и агротехнологических вопросов.

Разработанная методика ландшафтно-экологического строительства зеленых фасадов позволяет использовать полученные предложения в отечественном и зарубежном строительстве в сходных природных условиях.

Представлены новые ландшафтные решения, повышающие потенциал энергосберегающих технологий здания при формировании вертикального озеленения, включая вопросы повышения комфорта, здоровья и безопасности людей.

Практическая и теоретическая база работы

Исследования общих и комплексных проблем формирования зеленой концепции города, развития вертикальных систем озеленения (VGS) проводятся с различных позиций. Так, зеленая архитектура рассматривается в статьях как основа устойчивого развития города. Концепцию зеленой, или устойчивой, архитектуры авторы видят в стиле зданий, построенных в соответствии с принципами охраны окружающей среды. Ученые отмечают, что зеленая архитектура стремится минимизировать количество ресурсов, потребляемых при строительстве и эксплуатации здания. Методы живой стены могут стать частью устойчивой стратегии города, и зеленые вертикальные поверхности приносят значительную экологическую, социальную и экономическую выгоду для урбанизированных территорий [2, 3].

Интерес вызывают вопросы применения энергосберегающих технологий и методик повышения энергоэффективности зданий при использовании ландшафтных решений (вертикальное озеленение южных фасадов зданий и озеленение крыш), позволяющих снизить расходы на электроэнергию [4]. Вертикальное озеленение рассматривается здесь в качестве пассивного инструмента для экономии энергии в здании. Выясняются аспекты, которые следует учитывать при работе с VGS (системы классификации, различные рабочие механизмы, зеленая ливневая инфраструктура) [5]. Раскрываются примеры проектных предложений по энергосбережению при устройстве озеленения наружных ограждений, зеленых пространств и исторических зданий [6, 7].

Исследование такого важного аспекта вертикального озеленения, как охлаждение помещений в течение дня (регулирование температуры, количества теплопередачи в здание), обеспечивающее улучшение качества воздуха в городских районах, составляет значимую группу научных публикаций. Сюда можно отнести и результаты экспериментов, доказывающие, что снижение температуры здания с зеленой фасадной системой выше, чем у здания без нее [8, 9].

Заслуживает внимания оценка акустических характеристик зеленых фасадов и их влияние на распространение шума на большие расстояния. Выяв-

ленное свойство проверяется в разных условиях застройки (плотная застройка, открытые улицы), при разных источниках шума [10].

Вертикальная система земледелия стала использоваться для эффективного производства качественных продуктов питания [11]. Нельзя также забывать об эстетическом влиянии вертикального озеленения на городские пейзажи. Совершенствованию городского дизайна способствовало распространение растительности на внешних уличных стенах, что значительно повысило визуальный эффект местности [12, 13]. Появляются привлекательные места для пеших и велосипедных прогулок, участки застройки с гибридной архитектурой и запоминающимися публичными пространствами (набережная и центр города) [14, 15].

Рассмотренные исследования показывают экологические и микроклиматические преимущества интеграции растительности в архитектуру. Использование насаждений в вертикальном озеленении важно для поддержания комфортной городской среды. Однако возможности вертикальных систем озеленения для модернизации зданий еще мало изучены, особенно вопросы эколого-эстетического подбора видов растений, характерных для местности строительства.

2. Построение дерева целей вертикального озеленения

Теоретическая часть исследования заключается в разработке задач ландшафтно-экологического подхода к проектированию модели вертикальной плоскости озеленения, определении понятия комфортной озелененной среды при выборе типов формирования вертикального озеленения фасада здания и подборе дендрологического состава растений для озеленения.

Во-первых, проанализированы проблемы экологичности высотного строительства (потребление избыточного количества энергии, выхлопы газов от транспортных средств, привлеченных высотным объектом, сбор и вывоз мусора, отрицательное гидравлическое воздействие, ночное искусственное освещение, влияние на изменение климатических условий, затенение большой территории, психологическое влияние на человека, изменение ветрового режима, негативное влияние фасадов на птиц) и определены те из них, которые нейтрализует вертикальное озеленение.

Последующие исследовательские действия были направлены на решение задач по разработке дерева целей, необходимых для формирования комфортной окружающей среды при реализации ландшафтно-экологических свойств вертикального озеленения: улучшение микроклимата, высокая накопительная способность дождевой воды, сокращение эффекта островного накопления жары, экономия энергии благодаря изоляции от ветра, утеплителю или охлаждающему эффекту в процессе испарения, абсорбция шума, улучшение качества воздуха (некоторые растения могут частично улавливать мелкую пыль), оптическая валоризация непривлекательных фасадов и стен, что способствует снижению стресса, защита от граффити, создание жизненного пространства для фауны и флоры и т. д.

Выявленные цели и задачи позволяют определить весь комплекс мероприятий по формированию комфортности среды путем применения различных технологий вертикального озеленения (рис. 1).

Выбор системы вертикального озеленения

Выбор системы озеленения в строительстве зависит от группы общегородских факторов — факторов внешней среды и факторов для конкретного объекта. Затенение растениями снижает температурный градиент на внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций. Следовательно, снижается теплопроводность конструкций и инфильтрация воздуха внутрь помещений, что обеспечивает уменьшение потребления электроэнергии зданием [16, 17].

Рис. 1. Дерево целей проектирования вертикального озеленения зданий

В современных городах вертикальное озеленение широко применимо для фасадов зданий малоэтажных и средней этажности, а также для высотных зданий и сооружений и их внутренних пространств — атриумов. Приемы озеленения стен зданий и сооружений могут быть различны: сплошное покрытие стены, частичное и акцентное. Выбор приема зависит от решаемой проектной задачи, архитектурного решения здания и экологических условий территории. Для устройства вертикального озеленения применяются различные конструктивно-технологические решения фасадов зданий:

1. Цементно-песчаная решетка для удержания грунта: озеленение примыкает к поверхности стены на небольшом расстоянии. Растения крепятся к решетке (трельяжу), прикрепленному к стене на небольшом расстоянии от нее. Опорная конструкция с металлической решеткой. Система из металлической сетки — это тесно переплетенная сетка из алюминиевых или легких стальных тросов, прикрепленная к фасаду при помощи скоб. Растения, как правило, растут из специальных модулей, расположенных по всей высоте стены. Система из тросов и канатов состоит из гибких вертикально натянутых элементов. Пример: Pasona Headquarters в Токио, School of the Arts в Сингапуре, Helios Residences в Сингапуре, Newton Suites в Сингапуре (рис. 2).

2. Опорная конструкция — система из тросов и канатов; жесткая, неподвижно закрепленная система: конструкция из шпалер, которая может быть как плоской, так и объемной (рис. 3). Благодаря своей пространственной жесткости она может держаться не только за счет крепежа на стены или колонны, но и без каких-либо вертикальных опорных элементов.

3. Система с войлочными подвесными карманами — живая стена (рис. 4, 5). Вариант 1. Для ее устройства используют травянистые виды растений. Для защиты ограждающих конструкций от влаги их покрывают влагозащитной мембраной. Система полива может быть оснащена датчиками дождя. Корни растений располагаются в войлочных карманах, наполненных питательным составом. Вариант 2 — это матерчатая (тканевая) поверхность, прикрепленная к жестко установленной подкладке. Предварительно взращенные растения устанавливаются в отверстия-карманы в слое ткани (вой-

лок). В такой системе не предусматривается использование субстрата — все питательные вещества попадают к корням через воду из оросительных каналов, устанавливаемых под слоем ткани (войлока). Примеры: Trio Apartments в Сиднее, Athenaeum Hotel в Лондоне, B3 Hotel Virrey в Боготе.

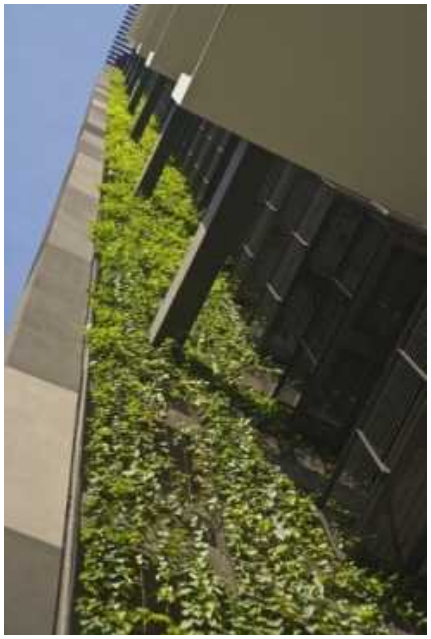


Рис. 2. Newton Suites в Сингапуре[1]

Рис. 3. Consorico project в Сантьяго[2]

Рис. 4. Athenaeum Hotel в Лондоне[3]

Рис. 5. B3 Hotel Virrey в Боготе[4]

4. Модульная система из контейнеров, наполненных питательным составом. Такая система либо крепится к вертикальной стене, либо стоит свободно, опираясь только на поверхность земли. Контейнеры изготавливаются из легкого металла или пластика. Это могут быть ящики или проволочные клетки. В некоторых случаях контейнеры делятся на более мелкие ячейки, распо-

[1] URL: http://zvt.abok.ru/articles/351/Ozelenenie_kak_instrument_ekologicheskih_reshenii
[2] URL: http://zvt.abok.ru/articles/351/Ozelenenie_kak_instrument_ekologicheskih_reshenii
[3] (URL: http://zvt.abok.ru/articles/351/Ozelenenie_kak_instrument_ekologicheskih_reshenii).
[4] (URL: http://zvt.abok.ru/articles/351/Ozelenenie_kak_instrument_ekologicheskih_reshenii)

ложенные под углом к задней поверхности контейнера. Растения выращивают непосредственно в этих модулях, наполненных почвой, неорганическим питательным составом или натуральным волокном. Примеры: One PNC Plaza в Питтсбурге (рис. 6).

Для принятия оптимального проектного решения используется один из методов системного анализа — метод анализа иерархий. Данный метод применен автором в научной работе [18], посвященной исследованию влияния транспортного шума на формирование акустической среды в зоне пересечений, в частности при разработке структурной модели, позволяющей провести оценку группы факторов, оказывающих влияние на уровень звука, принять адекватные решения по отбору значимых факторов.

Рис. 6. One PNC Plaza в Питтсбурге[5]

Метод состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и далее в обработке последовательности суждений лица, принимающего решение, по парным сравнениям. В результате описывается интенсивность взаимодействия элементов в иерархии, затем суждения выражаются численно. Этот метод включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений.

На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы, на втором — наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки элементов, следующим этапом становится выработка способа применения

[5] URL: http://zvt.abok.ru/articles/351/Ozelenenie_kak_instrument_ekologicheskih_reshenii

решения и оценка его качества. Применение математической модели позволяет оценить результаты принятия решений и их последствия. Процесс поиска оптимального решения проводится по иерархическому принципу: результаты, полученные на одном из уровней, используются в качестве входных данных для другого уровня. Метод анализа иерархий систематизирует процесс решения такой многоступенчатой задачи [19].

Основой для моделирования процесса являются принципы идентичности и декомпозиции, принципы дискриминации, сравнительного суждения и синтезирования:

1 этап — формулируется цель, которая и определяет проблему;

2 этап — определяются критерии, по которым отбирается оптимальный вариант решения задачи;

3 этап — генерирование альтернатив: выбирается некоторое множество альтернатив (объектов) для последующей оценки.

После проведения декомпозиции проблема выбора разделяется на три иерархических уровня. Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий уже всех элементов нижестоящего уровня [18, 19]. После иерархического описания проблемы в виде структурной схемы устанавливаются приоритеты значений критериев и оценивается каждая из альтернатив с учетом всех критериев. В качестве объектов для проведения анализа выбраны варианты конструктивно-технологических решений вертикального озеленения. Иерархическое представление модели оценки группы факторов построено с вершины (устанавливается цель с точки зрения управления), через промежуточные уровни к самому низкому уровню, который является перечнем альтернатив — варианты конструктивно-технологических решений вертикального озеленения. В модели создана полная динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня (рис. 7).

С целью реализации принципов дискриминации и сравнительных суждений сравниваются попарно элементы задачи с помощью матрицы сравнений. Для проведения субъективных парных сравнений применяется классическая шкала сравнительной важности [19].

Следующим этапом реализации методики является процедура синтеза векторов локальных приоритетов. Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов на каждый элемент примыкающего сверху уровня. Используя известные методы аналитического планирования, можно получить столбец относительных значимостей (или же собственные векторы приоритетов) каждого критерия системы относительно всех остальных критериев [20]. Последним этапом анализа является применение процедуры синтеза интегральных векторов приоритетов. Локальные векторы приоритетов перемножаются на приоритеты соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует этот элемент. Эта процедура дает глобальный вектор приоритета элемента.

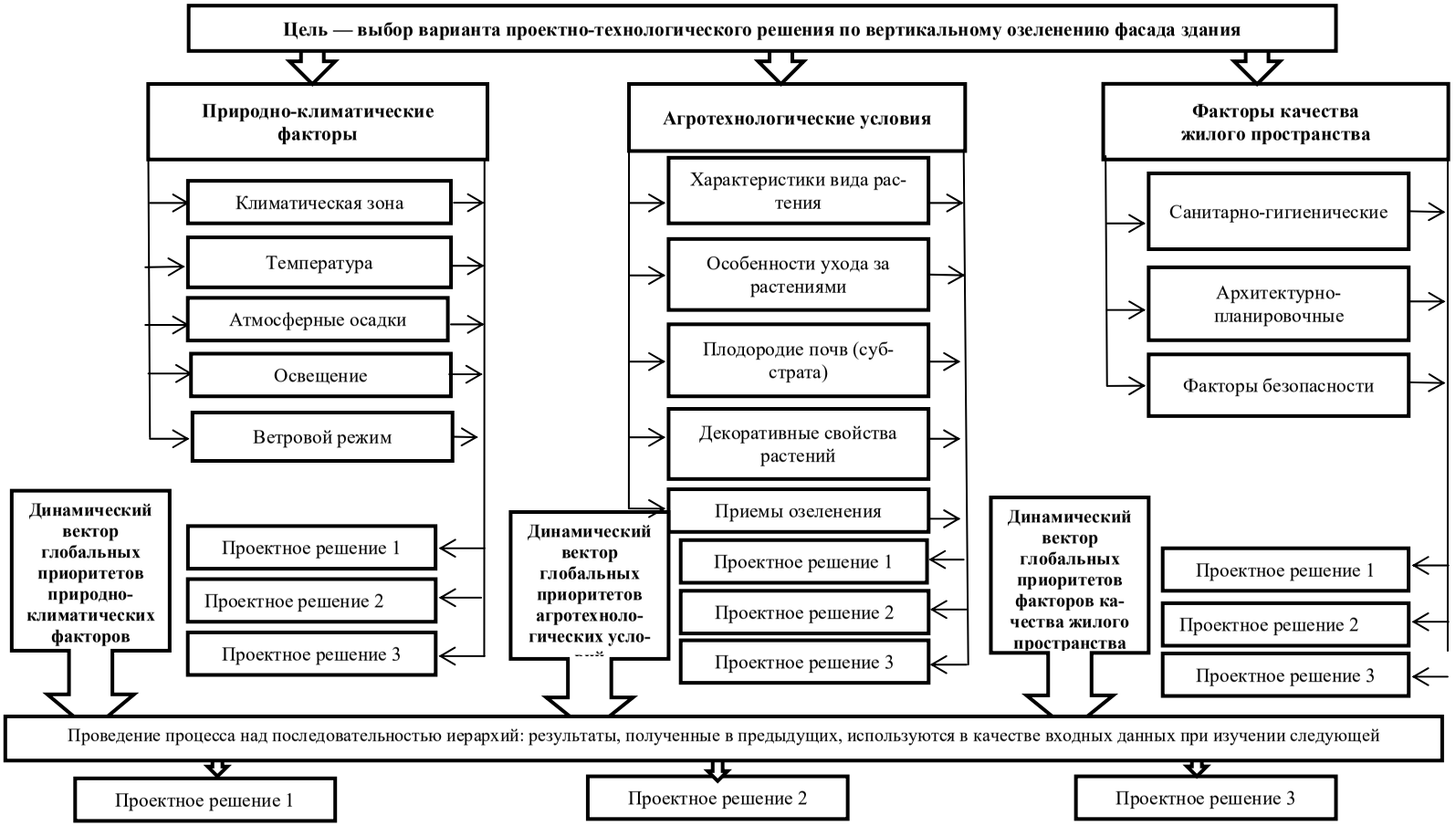


Рис. 7. Структурная модель проведения процедуры выбора варианта размещения велосипедной дорожки на объектах улично-дорожной сети и рекреационной зоны города

Климатические особенности территории г. Волгограда

Территория г. Волгограда и области относится к уникальному по своим климатическим условиям месту. На земном шаре имеются небольшие участки суши со сходной климатической ситуацией. Эти территории лежат в зоне резко континентального климата и характеризуются суровыми природными условиями (ветры приносят пыльные бури, абсолютный максимум температур достигает 50 ℃ при крайней сухости воздуха): Монголия, г. Улэгэй, Китай, г. Иньчуань, и Аргентина, г. Сан-Карлос-де-Барилоге.

По обилию тепла и света Волгоград стоит в одном ряду с субтропическими городами. Солнце закрыто облаками не более 80 дней в году. Анализ температурно-влажностного состояния городской среды Волгограда показывает, что на улицах температура воздуха держится от 35 до 45 °С, т. е. на 75 % выше оптимальной температуры, необходимой для развития растений; относительная влажность снижается до 8—11 % (для средней полосы это значение составляет 50—80 %). Асфальтовые покрытия нагреваются до 60 °С и выше, а температура земли на глубине 15 см в жаркий день превышает 30 °С. В Волгограде стабильно в летне-весенний сезон наблюдаются суховеи и пыльные бури (от 50 до 55 дней) со скоростью ветра 14 м/с, комфортные же условия, как известно, обеспечиваются при 2—6 м/с. Кроме горячих потоков воздуха ветер переносит песок и «пыль покрытий», загрязняющие городские пространства и резко ограничивающие видимость. Климатические условия Волгограда и области отличаются низкой относительной влажностью воздуха, сильными ветрами и пыльным бурями, неблагоприятными физическими свойствами почв. Все это создает большие трудности при подборе пород для вертикального озеленения и их выращивания.

Особенности развития растительности (лианы и карликовые кустарники и деревья). Кроме климатических условий на растительность Волгограда влияют еще две группы отрицательных факторов. К общим факторам относится комплекс «городских» воздействий. Для Волгограда ими являются антропогенные изменения почвы, загазованность и запыленность воздуха, изменяемый температурный режим (обусловленный многопрофильной промышленно-транспортной инфраструктурой), которые способствуют преждевременной гибели растений. Так, продолжительность жизни деревьев в посадках на улицах по сравнению с естественным лесом снижается в 3—5 раз (отмирание наступает в возрасте 20—30 лет — период времени наиболее декоративного и озеленительного эффекта).

К региональным особенностям формирования насаждений в Волгограде и области можно отнести: интенсивное развитие в молодом возрасте, после 3—8 лет рост у растений замедляется. У многих видов декоративность проявляется уже к 3—5 годам; низкоствольность древесных пород, кустарники вырастают до 3—4 м высоты; устойчивость посадок мужских особей (тополь, клен ясенелистный, ясень зеленый, бархат амурский, облепиха).

Результаты. Проектная задача рассмотрена и решена для городской территории Волгограда в рамках решения задачи по вертикальному озеленению фасадов зданий в условиях реконструкции застройки и обеспечения комфортных условий жизнедеятельности.

В результате проведения натурных обследований, наблюдений и математических расчетов получены количественные и качественные оценки пара-

метров каждой группы факторов. Построенная иерархическая модель включает три уровня, каждый из которых разбит на субуровни (табл. 1). В представленной модели создана динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня. В результате проведенного анализа получено 16 матриц суждений. Оценена степень влияния компонентов группы факторов — природно-климатических, агротехнологических и факторов безопасности: на субуровне 2.1 — 5 критериев оценки природно-климатических факторов; на субуровне 2.2 — 5 критериев оценки агротехнологических факторов; на субуровне 2.3 — 3 критерия оценки факторов безопасности и 3 типа проектно-технологических решения, которые попарно сравнивались по каждому из критериев. Правильность полученных характеристик, а также качество рассуждений, их логическая законченность оценены по величине индекса согласованности (ИС) [19], характеристике матрицы рассуждений L_{max} и отношения согласованности (ОС), значение которого не превышает 10 % ИС [18, 19]. Векторы интегральных приоритетов по факторам природно-климатическим, агротехнологическим и факторам безопасности, вычисленные по каждому из 3 типов рассматриваемых проектных решений, явились данными для составления матриц парных отношений значимостей по критериям группы факторов на уровне 2 и 3 иерархии. Обработка векторов проведена в среде Microsoft Excel, что позволяет ранжировать исследуемые объекты (см. табл. 1).

Таблица 1

Интегральный показатель влияния группы факторов на выбор варианта проектно-технологического решения вертикального озеленения фасада на этапе его реконструкции

Объекты размещения	Оценка группы факторов, оказывающих влияние на выбор варианта проектно-технологического решения	
	Интегральные приоритеты	Ранг
Проектно-технологическое решение 1	0,654	1
Проектно-технологическое решение 2	0,112	3
Проектно-технологическое решение 3	0,234	2

Полученные результаты оценки факторов показывают, что оптимальным вариантом проектно-технологического решения вертикального озеленения является решение 1 (ранг 1), группа природно-климатических и агротехнологических факторов в наибольшей степени оказывает влияние на выбор варианта проектного решения (см. рис. 7). Оптимальным вариантом является опорная конструкция с решеткой из алюминиевых или легких стальных тросов, прикрепленная к фасаду при помощи скоб.

Подбор растительности для вертикального озеленения осуществлялся с применением системы «зеленого конструктора», включающего наименования зеленых насаждений, отвечающих экологическим, эстетическим и дендрологическим требованиям (засухоустойчивых, красивоцветущих, с высокими фитонцидными свойствами, эффективно снижающих уровень шума, стойких к

дыму и выхлопным газам). Выбранные растения должны отвечать следующим требованиям: скорость роста, неприхотливость, засухо- и дымоустойчивость, зимостойкость, световой режим и способность переносить условия города.

В вертикальном озеленении широко используют лианы: аристолохию крупнолистную (*Aristolochia durior*) и аристолохию маньчжурскую (*Aristolochia manshuriensis*), древогубец круглолистный (*Celastrus orbiculatus*), древогубец плетевидный (*Celastrus flagellaris*) и древогубец лазящий (*Celastrus scandens*), девичий виноград пятилисточковый (*Parthenocissus*), жимолость каприфоль (*Lonicera caprifolium*) и др. В основном это лианы длиной 7…10 м с густой листвой, крупными листьями.

Растения, набравшие наибольшее количество баллов, определены для вертикальной композиции озеленения здания библиотеки в Волгограде (табл. 2). Медленно растущие растения лишь спустя месяцы приобретают окончательный, плотный внешний вид, и на уход не требуется много времени.

Таблица 2

Перечень растений, применяемых для вертикального озеленения здания в Волгограде

Наименование растения	Площадь, м^2	Кол-во, шт.
Бадан толстолистный	1,0	20
Барбарис Тунберга	2,0	20
Живучка ползучая	5,0	100
Зеленчук	17,7	155
Можжевельник казацкий	10,7	43
Овсяница Готье	6,7	200
Полынь австрийская	9,1	230
Седум едкий	2,5	200
Седум кавказский	7,6	230
Седум ложный	2,5	80
Седум Моргана	7,6	230
Солнцецвет гибридный	45,0	900
Спирея японская	4,0	20
Стахис византийский	14,7	300
Тимьян ползучий	2,5	80
Ясколка ползучая	3,36	70

Основу озеленения составляют: солнцецвет гибридный, стахис византийский, зеленчук, живучка ползучая, овсяница Готье, полынь австрийская, седум едкий, седум кавказский, седум Моргана, которые занимают до 90 % озелененной площади фасада здания.

Цветовыми акцентами выступают барбарис Тунберга, гармоничными дополнительными цветовыми пятнами в композиции стали: бадан толстолистный, тимьян ползучий, ясколка ползучая, седум ложный и др.; кусты спиреи японской и можжевельника казацкого расположены у основания вертикальной композиции (рис. 8).

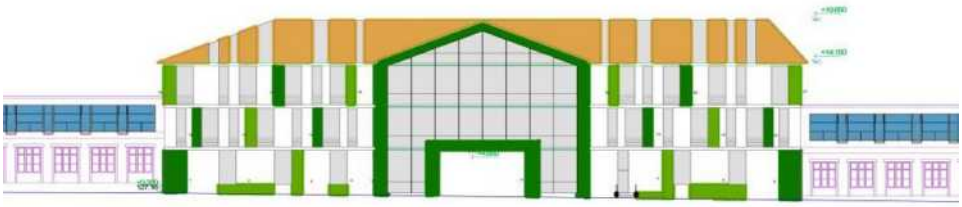


Рис. 8. Озеленение фасада ажурного типа

Выводы:

1. Проектирование озеленения фасадов города направлено на совершенствование условий жизнедеятельности, здоровья людей и восстановление экологического пейзажа.

2. Ландшафтно-экологический конструктор подбора пород растений помогает использовать преимущества вертикального озеленения, направленного на формирование комфортного городского микроклимата, биоразнообразия и достижения энергоэффективности зданий.

3. Предложенный метод оценки группы факторов универсален и легко применим на практике, может явиться основой для предварительного отбора факторов и определения математических зависимостей. Проведенное исследование имеет продолжение в рассмотрении вопросов проектирования вертикального озеленения, делающего акцент на комплексном использовании различных конструктивно-технологических решений вертикального озеленения и оценке степени безопасности для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях.

4. Экспериментальное проектирование поддерживается разработанной моделью ландшафтно-экологического строительства вертикального озеленения, где структура вертикального распределения древесных пород является важным фактором, влияющим на внешнее затенение и испарение, а также комфорт внутренней среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю.* Basic methodology in construction of vertical gardening of a building // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2020. Vol. 1614. 012034. 10 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012034.

2. *Хуснутдинова А. И., Александрова О. П., Новик А. Н.* Технология вертикального озеленения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 12(51). С. 20—32.

3. *Ragheb A., El-Shimy H., Ragheb G.* Green Architecture: A Concept of Sustainability // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 216. Pp. 778—787. DOI: 10.1016/j.sbspro.

4. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades / G. Perez, J. Coma, G. Perez, M. Urrestarazu, L. F. Cabeza // Building and environment. 2017. Vol. 111. Pp. 228—237. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.11.014.

5. Gong C., Hu C. The research of gray space design of architecture based on green stormwater infrastructure application // Energy Procedia. 2017. Vol. 115. Pp. 219—228. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.020.

6. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Методологический аспект ландшафтно-экологического формирования комфортной среды умного города // Сеть конференций MATEC. Vol. 106: Международная научная конференция SPbWOSCE-2016 «SMART City» (Санкт-Петербург, Россия, 15—17 ноября 2016 г.) EDP Sciences, 2017. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/20/contents/contents.html.

7. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Ландшафтно-экологические особенности формирования комфортной среды умного города (на примере исторического строительства зеленого кольца

Сталинграда — Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(60). С. 153—166.

8. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes / B. A. Norton, A. M. Coutts, S. J. Livesley, R. J. Harris, A. M. Hunter, N. S. G. Williams // Landscape and Urban Planning. 2015. Vol. 134. Pp. 127—138. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.10.018.

9. *Jayasooriya V. M., Ng A. W. M., Muthukumaran S., Perera B. J. C.* Green infrastructure practices for improvement of urban air quality // Urban Forestry & Urban Greening. 2017. Vol. 21. Pp. 34—47. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.11.007.

10. *Mostafa Refat Ismailn*. Quiet environment: Acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form // Frontiers of Architectural Research. 2013. Vol. 2. Iss. 2. Pp. 162—177. DOI: 10.1016/j.foar.2013.02.002.

11. *Othman A. R., Sahidin N.* Vertical greening façade as passive approach in sustainable design // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 222. Pp. 845—854. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.185.

12. Son J. E., Kim H. J., Ahn T. I. Hydroponic Systems. Plant Factory. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Chapter 17. 2016. Pp. 213—221.

13. *Растяпина О. А., Ганжа О. А., Бабенко К. В.* Формирование методики оценки качества визуального облика городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 52(71). С. 188—198.

14. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Методические подходы в градостроительном проектировании уличных схем в условиях устойчивого развития города // Энергетический менеджмент муниципального транспорта и транспорта — EMMFT 2017, 10—13 апреля 2017: IOP Conf. Серия: Науки о Земле и окружающей среде. 2017. Т. 90. 6 с. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012130.

15. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.* Ландшафтно-экологическая организация визуального каркаса городских гибридных пространств в процессе ревитализации постиндустриального ландшафта набережной Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 173—186.

16. *Perini K.* Retrofitting with vegetation recent building heritage applying a design tool — the case study of a school building // Frontiers of Architectural Research. 2013. Vol. 2. Pp. 267—277. DOI: 10.1016/j.foar.2013.06.002.

17. *Wood A., Bahrami P., Safarik D.* Green Walls in High-Rise Buildings – HK: Everbest Printing Co Ltd, 2014.

18. *Ганжа О. А.* Оценка шумового воздействия в зонах городских транспортных пересечений на геоэкологическую среду города (на примере Волгограда) : дис. … канд. техн. наук. М., 2009.

19. *Саати Т. Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. Изд. 2-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.

20. *Салугин А. Н.* Введение в системный анализ: Компьютерные основы принятия решений. Волгоград: ВолгГАСА, 2002. 107 с.

© Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю. Методические основы строительства вертикального озеленения здания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 142—155.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архит., проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоградский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ganzha_olga@mail.ru

Подковыров Игорь Юрьевич — канд. с.-х. наук, доц., руководитель центра, Волгоградский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26; ORCID: 0000-0003-0505-4094; cottonvolgau@list.ru

Nina V. Ivanova[a], Ol'ga A. Ganzha[a], Igor Yu. Podkovyrov[b]

[a] Volgograd State Technical University
[b] Volgograd State Agrarian University

BASIC METHODOLOGY IN CONSTRUCTION OF VERTICAL GARDENING ON BUILDING FACADES

The researches cover the methodological basis for formation of vertical gardening (landscaping) of building facades in the concept of landscape architecture, ecology of vertical gardening, green construction technologies and measures aimed at the improvement of the energy efficiency of buildings. The 'Tree of Objectives' is substantiated, which determines contemporary fields of development of green facades. For the first time, a methodology for choosing variants of the project design and technology solution of vertical gardening is proposed. In the work, multi-factor landscape ecological analysis is used; the analytical method of system analysis — the Analytic Hierarchy Process — is discussed. The author of the method is Thomas L. Saaty (USA), who represents the structure of a practical decision as a hierarchy, with further decomposition of the problem into more simple elements, and further, in the processing of the sequence of judgments of a decision maker on the basis of comparing elements to each other two at a time. In result, the intensity of interaction between elements in the hierarchy is described, and then, the judgments are expressed numerically. The method includes the procedures of synthesis of multiple judgments, of obtaining priority ranking of criteria, and finding alternative solutions.The proposed method for evaluation of a group of factors is universally applicable and can be easily used in practice, and also is the basis for preliminary selection of urban environment factors for creation of a comfort environment in the course of realization of landscape ecological properties of vertical gardening. The use of the system analysis method allows solving the analytical problem of choosing a design solution for vertical gardening system.

K e y w o r d s: vertical gardening of building facades, a method for analyzing hierarchies, plant selection.

For citation:

Ivanova N. V., Ganzha O. A., Podkovyrov I. Yu. [Basic methodology in construction of vertical gardening on building facades]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 142—155.

About authors:

Nina V. Ivanova — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd State Agrarian University. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Ol'ga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ganzha_olga@mail.ru

Igor Yu. Podkovyrov — Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Volgograd State Agrarian University. 26, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400002, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0505-4094; cottonvolgau@list.ru

УДК 747.012:725.8

Н. С. Король, С. А. Матовников, В. С. Волков

Волгоградский государственный технический университет

ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОБРАЗА КОСМОСА В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРЬЕРОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Проанализированы современные тенденции в оформлении пространства помещений в космическом стиле, выявлены основные критерии в дизайне интерьера. В ходе аналитического обзора концептуальных решений определяются актуальные подходы в проектировании пространства и дизайне интерьера, а также выявляется соответствие сценографии космоса общественных помещений реальным космическим объектам.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дизайн, интерьер, космический стиль, футуризм, космос, дизайнерские приемы, сценография космоса.

Космос — это бескрайнее пространство — волновал умы человечества на протяжении многих веков. Задолго до первого полета космического корабля существовало много различных теорий и предположений о космосе. Люди всегда хотели выйти за просторы реальности, заглянуть за «край» облаков, понять тайны мироздания. Еще буквально в начале прошлого века полет на Луну считался чем-то из области фантастики, а мечтающих пронзить небесную высь в лучшем случае считали неопасными для общества сумасшедшими[1].

Впервые поверить в возможность полета к другим «мирам» удалось лишь в конце XIX в., а осуществить в реальности — только 4 октября 1957 г. Именно тогда был запущен первый космический аппарат СССР — «Спутник-1», что ознаменовало начало освоения космоса. Главным событием в области освоения космического пространства стал первый полет человека в космос [1], который явился новой ступенью развития для всего человечества.

Именно этот период и стал основополагающим для развития такого направления, как космостиль. В этот период (начало 1960-х гг.) произошла переоценка человеческих ценностей. Человек понял, что покорение не только собственной планеты, но и всего мира ему теперь по плечу.

С начала XX в. появляется такое направление в искусстве и дизайне, как футуризм, основоположником которого считается итальянский писатель и поэт Филиппо Томмазо Маринетти[2], благодаря которому позже появилось понятие «космический стиль». Последователи Маринетти считали, что технологии будущего интереснее произведений искусства. Постепенно направление становится популярнее: в промышленном дизайне доминируют белые, продолговатые формы, отражающие поверхности. Футуризм проникает во все сферы дизайна: он на телевидении, в рекламе, в моде; появляются непривычные для того времени предметы, объекты, элементы одежды — телевизо-

[1]История покорения космоса. URL: https://asteropa.ru/istoriya-pokoreniya-kosmosa/

[2]Italian Futurism Design: History and Examples. URL: https://creativemarket.com/blog/italian-futurism-design.

ры круглой формы, фетровые шляпы, напоминающие капсулу, астролампы и т. д. Начинают воплощаться художественные проекты, которые ранее было бы невозможно реализовать [2].

Космостиль проникает в и оформление интерьеров, в основе которых лежат минималистичные тенденции:

- используются прямые, лекальные, зигзагообразные линии;
- в отделке применяются необычные стеновые панели;
- преобладающие материалы: металл, стекло, пластик;
- цветовые решения не столь разнообразны, в основном используются черный, серый, белый, серебристый, ярких цветов очень мало;
- практически полностью отсутствует декор помещений;
- освещение обильное и многообразное (приобретает причудливые формы), используется подсветка в нишах, на стенах, полах, потолках, а также в мебели и оборудовании;
- предметы мебели и оборудования — необычных форм. Кроме того, очень важно, чтобы они могли складываться и трансформироваться, таким образом при их сложении образуется много свободного места [3];
- наличие капсульных/камерных пространств.

На тот период космос считался чем-то сверхвозможным из-за недостаточного количества научной информации о нем. В основе всех дизайнерских решений космостиля лежали вымышленные формообразования, ставшие предметом фантазии их создателя.

В настоящее время наука продвинулась далеко вперед. Сегодня космические корабли не только «бороздят просторы», успешно маневрируя в условиях минимальной гравитации, но и доставляют на земную орбиту грузы, космонавтов и космических туристов[3].

Теперь полет «за облака» не представляется чем-то нереальным, это работа специально обученных и подготовленных людей, хотя для обычного человека космос так и остался недостижимым [4]. Такие полеты доступны только узкому кругу людей с определенным финансовым достатком и влиянием. Для того чтобы сблизить себя с данной темой, «принести» космос на землю, люди по-прежнему используют космический стиль в сферах своей жизнедеятельности, в частности в оформлении интерьеров как жилых, так и общественных помещений.

Но так называемый космос, использующийся в дизайне в настоящее время, как и в период 60-х гг. XX в., больше схож с миром фантастическим, чем с реальными элементами объектов (например, внутренними пространствами космических кораблей).

Проанализируем имеющиеся объекты, не связанные с темой космоса, но оформленные в данном стиле.

Космический центр развлечений в Бремене (Space Center Bremen) (Германия)

Это крупнейший в Европе парк аттракционов (22 тыс. м^2), разделенный на 9 павильонов [5], в каждом из которых найдется развлечение на любой

[3]История покорения космоса. URL: https://asteropa.ru/istoriya-pokoreniya-kosmosa/.

вкус, так или иначе связанное с понятием «космос» (рис. 1). Здесь находится единственный в мире аттракцион, посвященный фильму Star Trek, — Borg Encounter.

Рис. 1. Аттракционы в Космическом центре развлечений в Бремене

Все аттракционы разнообразны, они имеют формы фантастических космических объектов, которые создают впечатления инопланетности, а яркие цвета и подсветка притягивают внимание как детей [6], так и их родителей, и не дают пройти мимо ни одного аттракциона.

Но эти «космические аппараты» не имеют ничего общего с реальными космическими объектами. Их цель — привлекать людей, поднимать настроение посетителей, помогать приятно провести время, с чем они успешно справляются.

Для сравнения рассмотрим макеты реальных космических аппаратов, расположенных в научных и учебных центрах космонавтики.

Благодаря ИЛ-76 МДК (рис. 2), расположенном в Звездном городке Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина, можно кратковременно преодолеть земное притяжение и ощутить самую настоящую невесомость[4], но для этого необходима специальная подготовка.

[4] Центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина. URL: https://fb.ru/article/322127/tsentr-podgotovki-kosmonavtov-im-yu-a-gagarina-adres-foto.

Рис. 2. ИЛ-76 МДК

С помощью виртуального аналога космического корабля «Союз-ТМА» (рис. 3) участники Клуба космонавтики, расположенного в Детском космическом центре в г. Кирове, будут учиться состыковываться с Международной космической станцией и отрабатывать приземление в спускаемом аппарате[5].

Рис. 3. Аналог космического корабля «Союз-ТМА»: в открытом и закрытом виде

Такие объекты направлены на научно-образовательную и подготовительную деятельность и не могут использоваться в повседневных целях. К тому же реалистичные объекты привлекут далеко не каждого ребенка, а только тех, кто заинтересован данной темой.

Рассмотрим следующие примеры внутреннего пространства реального космического аппарата и интерьер инопланетного летательного объекта фантастического фильма.

На рисунках 4 и 5 представлены фотографии внутреннего пространства космического шаттла «Атлантис», а на рис. 6 — интерьеры несуществующих фантастических космических кораблей.

[5] В Кирове открылся детский космический центр. URL: https://fishki.net/2536448-v-kirove-otkrylsja-detskij-kosmicheskij-centr.html.

Рис. 4. Аппарат управления космического шаттла «Атлантис»

Рис. 5. Грузовой отсек шаттла «Атлантис»

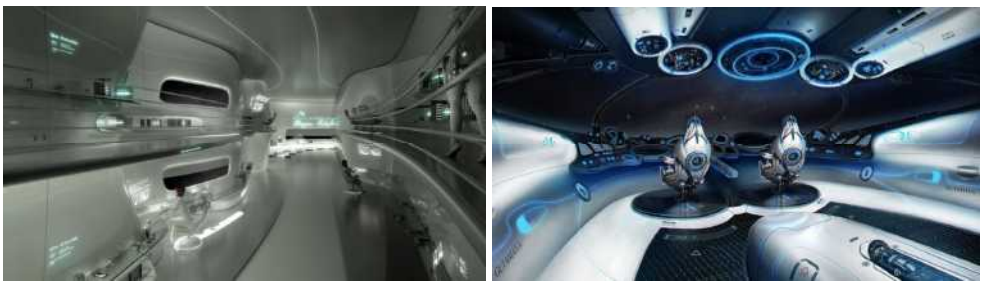


Рис. 6. Интерьеры несуществующих фантастических космических кораблей

Если говорить об эстетической составляющей и выбирать, какой интерьер является более привлекательным, выбор будет очевиден. Для привлечения интереса людей в наземных реалиях важно не техническое оснащение и правдоподобность космического корабля, а создание некой сказки, интересного неизведанного мира, который хочется постичь и вернуться туда впоследствии, порекомендовав остальным [7]. Именно такая задача стоим перед проектировщиками общественных объектов. Представленные ниже примеры являются прямым этому подтверждением.

Телебашня, отель и ресторан Jested. Либерец, Чехия

Йештед — это отель и панорамный ресторан, разместившиеся в здании телебашни, построенной в 1960-е гг. на вершине одноименной горы неподалеку от чешского города Либерец (рис. 7)[6].

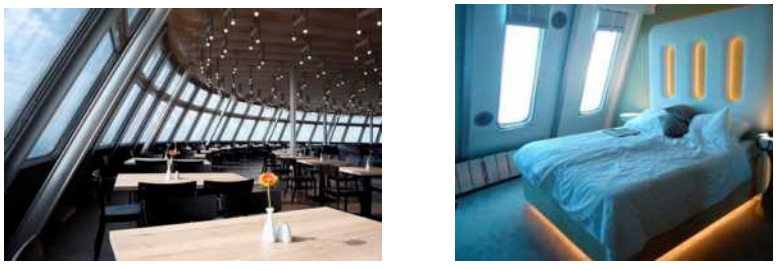


Рис. 7. Панорамное остекление, окна-иллюминаторы, подсветка в интерьерах отеля и ресторана Jested

[6] Ještěd Tower. — Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ještěd_Tower.

Интерьеры комплекса продолжают «космическую» тему внешнего облика телебашни. Посетителей ждут мягкие кресла, свисающие с потолков, окна-иллюминаторы, панорамное остекление, футуристичные светильники, подсветка ниш, оборудования и многое другое, погружающее гостей в «Космическую Одиссею» Кубрика.

Музей современного искусства «Кунстхаус» (Kunsthaus Graz). Грац, Австрия

Музей, построенный в 2003 г., прозвали «дружелюбным пришельцем» из-за его футуристического облика и инновационности[7].

На рисунке 8 представлены интерьеры верхнего этажа здания. Проектировщиками было придумано необычное освещение в форме углубленных в потолок многоугольников и встроенных в них спиралевидных светильников. Полукупольный потолок, отделанный металлическими панелями треугольной формы, сгруппированными в многоугольники (повторяющие форму светильников), создает необычный визуальный эффект.

Рис. 8. Верхний этаж музея современного искусства «Кунстхаус»

Palais Bulles. Канны, Франция

В 1989 г. французский архитектор венгерского происхождения Антти Ловаг для одного из эксцентричных промышленников спроектировал дворец, напоминающий конгломерат розовых пузырей, ощетинившихся стеклянными куполами.

Помещения представляют собой капсульные объекты[8], похожие на инопланетные кабины кораблей или шлем скафандра космонавта, если не учитывать их цвет (рис. 9 и 10). Внутри эти объекты тоже весьма необычны. Все проходы и оконные проемы имеют округлую или полукруглую форму и напоминают внутреннее убранство космических кораблей из фантастических фильмов.

«Атомиум». Брюссель, Бельгия

«Атомиум»[9] стал центральным элементом комплекса Всемирной выставки 1958 г.

Архитектор необычно сформировал пространственное наполнение в виде шаров (рис. 11), «атомов» — по задумке, а трансферную часть выделил в

[7]Kunsthaus Graz —Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Kunsthaus_Graz.

[8]La résidence préférée de Pierre Cardin, conçue par l'architecte Antti Lovag. URL: https://www.palaisbulles.com/

[9]Atomium. URL: https://atomium.be/Home/Index.

трубки (рис. 12), соединяющие эти сферы. Металлизированные интерьеры полуцилиндрической формы и окна-иллюминаторы так или иначе наталкивают на идею космоса.

Рис. 9. Капсульные формы Palais Bulles

Рис. 10. Интерьер Palais Bulles

Рис. 11. «Атомиум», Брюссель

Рис. 12. Интерьер трубы

Все рассмотренные выше примеры представляют собой совмещение сценографии космоса с функцией и удобствами, подчиняющимися наземной форме жизни с ее правилами, законами и силой притяжения.

В проектировании таких объектов важно прежде всего создание некой атмосферы, эмоций, которые должен испытать посетитель. Это делается с помощью дизайнерских приемов, используемых при создании интерьеров:

1. Преобладающие линии — плавные, лекальные.

2. Цветовая гамма — в основном базовая[10] (белая, черная, металлизированная). Однако в наземных объектах прежде всего следует учитывать функцию и назначение помещений: в развлекательных центрах больше подойдет яркая, выделяющаяся цветовая гамма, так как основная функция такого объекта — привлечь как можно больше посетителей. В жилых помещениях или выставочных пространствах будет уместно использование бело-серой гаммы, так как это позволит сделать акценты на назначение помещений (в спальне — отдых, расслабление; в выставочных залах — концентрация внимания на экспозиции).

[10]Futurism Interior Style: Overview and Examples. URL: https://www.smalldesignideas.com/futurism-interior-style-overview-and-examples.html.

3. Освещение. Это еще одна неотъемлемая часть любого интерьера в космическом стиле. Свет здесь может принимать любые формы: от обычного точечного до необычных вариантов подсветок и прожекторов. Причем в таких интерьерах возможно подсвечивание всего: стен, потолка, пола, ниш, элементов мебели и оборудования. С помощью света можно зонировать пространства, указывать на зону транзита, выделять акценты. При том что его не всегда может быть много, но в сочетании с зеркальными, глянцевыми, стеклянными или же металлизированными поверхностями этого количества будет вполне достаточно, чтобы создать интересные композиции.

4. Необычные предметы и вещи в космическом стиле. Они помогут почувствовать себя хотя бы на некоторое время космонавтом. Например, возможна установка для проецирования картин звездного неба на экран в форме купола или мебель и оборудование, прикрепленные нестандартным образом — к потолку или стенам.

5. Декорации. В помещениях космического стиля в основном все техническое оснащение, а также конструктивные элементы, которые должны нести в себе опорные функции, становятся декоративными, закрывая зачастую невзрачные геометрические формы зданий, в которых находятся, а каждый предмет интерьера должен погрузить посетителей в атмосферу космоса и превратить пространство в сложноорганизованную инновационную медиасреду, обладающую такими характеристиками, как полифункциональность, интерактивность и мультисенсорность [8].

Если взять за основу вышеперечисленные принципы и проявить фантазию, дизайн обязательно будет впечатляющим.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зайцева А. Г., Андреева В. В.* Методы проектирования в дизайне костюма на примере проектной разработки молодежной одежды с использованием исследования в области космического стиля. Чебоксары, 2015.

2. *Воронина А. Е.* Дизайн бытовой техники «космической» эпохи в СССР, США и европейских странах. Челябинск, 2019.

3. *Бурцева Н. Л.* Космическое будущее — увидеть и воплотить // Воздушно-космическая сфера. 2020. 20 октября. URL: https://www.vesvks.ru/vks/article/kosmicheskoe-buduschee---uvidet-i-voplotit-16587.

4. *Гарин Н. П., Станилевич О. А.* Предвосхищение космоса (к вопросу разработки дизайн-сценария подготовки космических туристов) // Региональные архитектурно-художественные школы: Всерос. науч.-практ. конф. Новосибирск: Сибпринт, 2011. С. 128—132.

5. *Haferkamp S.* So sah es damals im Space Park Bremen aus – Bilder und Fotos aus Bremen // Weser Kurier. 02.07.2020. URL: https://www.weser-kurier.de/bremen/bremen-fotos_galerie,-so-sah-es-damals-im-space-park-bremen-aus-_mediagalid,38835.html.

6. *Матовников С. А., Борзенко С. Е., Картавцева Я. С.* Дизайнерские аспекты оптимизации среды жилой детской комнаты с учетом гендерного и количественного факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 157—164.

7. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В.* The problems of designing a multifunctional courtyard space of high-rise buildings by the example of residential development in Volgograd // E3S Web of Conferences. Vol. 33: High-Rise Construction 2017 (HRC 2017) Samara, Russia, September 4—8, 2017. Les Ulis, France, 2018. 10 c. URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301006.

8. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Павлушина Н. А*. Современные подходы к проектированию городского парка как инновационной микросреды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69).

© Король Н. С., Матовников С. А., Волков В. С., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Король Н. С., Матовников С. А., Волков В. С. Приемы формирования художественного образа космоса в дизайне интерьеров образовательных и развлекательных центров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 156—164.

Об авторах:

Король Наталья Сергеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; korol.natalya98@mail.ru

Матовников Сергей Алексеевич — канд. архит., проф., зав. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikov4@yandex.ru

Волков Владимир Степанович — доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Natalya S. Korol, Sergei A. Matovnikov, Vladimir S. Volkov

Volgograd State Technical University

TECHNIQUES FOR FORMING AN ARTISTIC IMAGE OF THE COSMOS IN THE INTERIOR DESIGN OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND ENTERTAINMENT CENTERS

This article analyzes current trends in the design of space in the space style, identifies the main criteria in interior design. During the analytical review of conceptual solutions, current approaches to space design and interior design are determined, and the correspondence of the space scenography of public spaces to real space objects is revealed.

K e y w o r d s: design, interior, space style, futurism, space, design techniques, space scenography.

For citation:

Korol N. S., Matovnikov S. A., Volkov V. S. [Techniques for forming an artistic image of the cosmos in the interior design of educational institutions and entertainment centers]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 156—164.

About authors:

Natalya S. Korol — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; korol.natalya98@mail.ru

Sergei A. Matovnikov — Candidate of Architecture, Prof., Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikov4@yandex.ru

Vladimir S. Volkov — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 725.947

Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, А. В. Казакова, А. С. Христюкова

Волгоградский государственный технический университет

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРКОВОЙ СКАМЕЙКИ КАК МАЛОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ В ПАРКОВОЙ ЗОНЕ

В рамках статьи проанализированы отечественные и зарубежные аналоги паркового оборудования. Найдены современные и инновационные примеры парковых скамеек, необычных и интересных по форме, из инновационных материалов, создающих новые средовые ситуации в парке. В рамках статьи выявлены некоторые современные приемы проектирования малой архитектурной формы в парке. В результате исследования были определены основные архитектурно-дизайнерские, архитектурно-планировочные и эргономические принципы проектирования малой архитектурной формы в парковой среде. Предложены эскизные варианты скамеек в парковой зоне.

К л ю ч е в ы е с л о в а: малая архитектурная форма, парковые скамейки, парковое оборудование, проектирование, эргономика.

Современный город — сложная многофункциональная система, в которой городское население решает массу утилитарных задач, важное место в том числе занимают вопросы отдыха и свободного времяпрепровождения. В связи с этим сегодня особенно актуальна проблема создания комфортной городской парковой среды. Открытые пространства, скверы, парки, зеленые зоны города формируют городскую среду. И именно в парках должна быть создана оптимальная по своим характеристикам комфортная городская среда [1—5]. Парковая зона, обустроенная скамейками и лавочками, — это идеальное место для комфортного отдыха городского жителя. Поэтому в ландшафтном дизайне проектирование такого оборудования — важный аспект благоустройства, при этом следует уделить внимание каждой детали. Помимо утилитарной функции скамейки являются оригинальным украшением любого участка, парка, сквера и придомовой территории, это необходимо учитывать при ландшафтном проектировании парка. Помимо основного предназначения скамья выполняет ряд дополнительных функций: она может быть сориентирована на красивую видовую точку (бельведер), спасать посетителей парка от зноя (в тени деревьев) либо предоставлять возможность позагорать на солнце, располагаться в активной игровой зоне или в зоне тихого отдыха. В качестве декоративного элемента парковая скамейка будет ярким акцентом в дизайне сада, так как может иметь различную стилистическую направленность (в классическом, авангардном, минималистичном стиле и пр.), быть ярким цветовым акцентом, иметь интересную фактуру и т. д. [6—10].

Скамья как утилитарный предмет имеет свою историю. Ее начали использовать еще в Древнем Египте, Древнем Китае, Древней Греции, Древнем Риме. В разных культурах скамья имела отличительные особенности. Например, в Египте у нее были короткие ножки, так как египтяне попросту привыкли сидеть на земле. Чуть позже у греков тоже появилась мебель, чем-то напоминающая скамью, но более усовершенствованная. Такие лавки стали настоящим предметом роскоши, так как имели подголовник и спинку. Среди

знати было принято принимать пищу лежа, поэтому аристократы использовали конструкцию на коротких ножках для этих целей. В Древнем Риме было уже несколько разновидностей скамеек. Простые варианты стояли у обычных людей. Состоятельные римляне использовали усовершенствованные лавки со спинками и подлокотниками. В России скамьи использовались повсеместно. Почетным местом за столом в любом доме была лавка у стены. Постепенно такая мебель претерпевала изменения. Скромные египетские лавки превращались в шикарные предметы в стиле барокко либо в готическом стиле [5, 7].

Обычная скамья оказалась одним из самых востребованных предметов уличной мебели, в том числе и в парковой среде. Сегодня она чаще всего использует в качестве самостоятельного элемента ландшафтного дизайна. Сейчас трудно представить парковую зону без скамеечек для отдыха [3—5, 11—13]. Принято выделять несколько разновидностей скамеек: парковые, уличные, садовые скамейки.

Цель данного исследования — выявить основы проектирования парковых скамеек, в том числе основные архитектурно-дизайнерские, архитектурно-планировочные и эргономические принципы проектирования этой малой архитектурной формы в парковой зоне. Для чего необходимо проанализировать имеющиеся примеры парковых скамеек, существующие в нашем и зарубежном ландшафтном строительстве.

1. Примеры парковых скамеек в Москве. «Лавочки для интровертов» на Овчинниковской набережной (рис. 1). Всем иногда хочется просто уединиться и насладиться моментом. Для этих целей спроектированы небольшие зоны отдыха на территории парка, обустроенные аккуратными и уединенными лавочками. Скамейки спроектированы из дерева и металла в современном минималистическом стиле. Напоминает обыкновенный стул. Они создают отдельные лаундж-зоны, где можно отдохнуть, полюбоваться Москва-рекой. Объект создан в 2020 г. в рамках проекта благоустройства Москвы.

Рис. 1. «Лавочки для интровертов» на Овчинниковской набережной

«Арт-лежаки» в Лианозовском парке (рис. 2). Объект создан в рамках проекта благоустройства Москвы. Здесь можно отдохнуть от городской суеты, почитать книгу, насладиться видом на Лианозовский пруд и просто спокойно подумать о чем-то своем. Деревянные шезлонги очень удобны, хотя полноценно прилечь не получится: S-образная необычная форма оставляет возможность только для положения полулежа. Эти лежаки создают места релаксации, любования природой и пр. Для этого они располагаются в максимально выигрышных местах парка (в тени деревьев, возле водоема).

«Научные скамейки» расположены около памятника Шухову (рис. 3). Памятник выдающемуся отечественному инженеру и архитектору Владимиру Шухову был открыт на Сретенском бульваре в декабре 2008 г. Монумент представляет собой сложную композицию — фигуру ученого на постаменте и четыре оригинальные стилизованные скамьи. В данном случае скамейка является арт-объектом. Здесь можно сделать фотографии, провести историческую экскурсию и пр. Данную инсталляцию можно считать малой архитектурной формой, городской скульптурой.

Рис. 2. «Арт-лежаки» в Лианозовском парке

Рис. 3. «Научные скамейки»

Круглые ограждения-скамейки на Новодевичьей набережной (рис. 4). Уличная скамейка в виде кольца эстетична и практична: она вместительна и может располагаться там, где для стандартного варианта нет места. Круглые лавочки можно встретить в парках, на бульварах и набережных, даже во дворах. Их часто называют цветочницами и устанавливают вокруг деревьев. Жарким летним днем посидеть несколько минут под прохладной тенью листвы особенно приятно.

Скамейка-инсталляция с изображением Уинстона Черчилля, Лиговский проспект (рис. 5). Городские скамейки как арт-объекты можно использовать и в качестве элемента наружной рекламы. Владельцы торговой точки таким образом подчеркивают высокое качество своих товаров, привлекают посетителей. Для этих целей используются культовые образы, исторические и литературные персонажи [2]. Например, образ Уинстона Черчилля, который однажды произнес фразу, ставшую крылатой: «Мои вкусы чрезвычайно просты! Я легко довольствуюсь самым лучшим», и сегодня несущую определенный маркетинговый посыл, удачно использован в дизайне скамейки возле кафе.

Рис. 4. Ограждения-скамейки

Рис. 5. Скамейка- инсталляция

2. Зарубежные примеры. «Скамейки в горах», г. Кортина-д'Ампеццо, Италия (рис. 6). Смотровая площадка, расположенная в зимнем городе-курорте в Доломитовых Альпах и оборудованная скамейкой необычной формы. Данный объект символизирует своими удобными спинками горы, как бы говоря нам о том, что с нее открывается замечательный вид на Альпы.

Рис. 6. «Скамейки в горах»

«Скамейка-дерево», г. Сиэтл, США (рис. 7). Эта лавочка сделана в виде дерева и очень хорошо вписывается в общий антураж прекрасного парка. Сложно представить себе городские улицы без этого удобного и практичного элемента, который служит не только для красоты, но прежде всего для комфорта горожан. Деревянная конструкция гармонирует с тенями садовых деревьев, как бы являясь их частью, образ скамейки довольно живописный и интересный, что обогащает предметную среду парка.

Рис. 7. «Скамейка-дерево»

«Скамейки-камни», г. Сан-Франциско, США (рис. 8). Эти «камни» не только выглядят удобно, но таковыми и являются. Скамейки имеют органичную форму гладкой черной гальки. Их интересной особенностью является не только красивый вид, но и то, что на них можно сесть с разных сторон, что особенно удобно для общения в компании.

Рис. 8. «Скамейки-камни»

Парковая скамейка в г. Итака, штат Нью-Йорк, США (рис. 9). Эта лавочка сделана из эпоксидной смолы, дерева и пары десятков светодиодов. Таким образом, кроме основной функции, скамейка является элементом паркового освещения. Это довольно оригинальное решение, поэтому лавочка является местной достопримечательностью и очень популярна во время вечерних прогулок.

Рис. 9. Парковая скамейка в г. Итака

Коллекция «Яхтовые скамейки», созданная молодым дизайнером Йангиром Маддади в 2020 г. (рис. 10). Данный объект представляет новый взгляд на городскую среду в прямом смысле этого слова. Круглая форма сидений открывает сидящему 360-градусный обзор, позволяя «взглянуть окрест себя», не утыкаясь при этом взором в спинку. Модель можно использовать как в помещении, так и на улице. Простое решение, при этом имеющее выразительный дизайн. Возможность панорамного осмотра особенно удобна при восприятии произведений искусства, которые располагаются на стендах. Дизайн скамейки представляет собой элегантную современную скульптуру и является частью экспозиции.

Реконструкция рекреационной зоны на берегу Папроцанского озера, архитектурное бюро RS+, Польша (рис. 11). Рекреационная зона оборудована не традиционными скамейками, а удобными гамаками. Основа гамака сделана из сетки и закреплена над водой, что позволяет полноценно расслабиться под шум воды, отдохнуть.

Рис. 10. Коллекция «Яхтовые скамейки»

Рис. 11. Скамейки-гамаки

Архитектурно-композиционные характеристики парковых скамеек напрямую связаны с эргономическими параметрами. Парковые скамейки — важнейший элемент комфортного общественного пространства, поэтому они должны быть максимально комфортными. Каким бы огромным ни был ассортимент уличной мебели, в парке всегда найдется место скамейке. Она давно стала его атрибутом. Без этого простого и удобного предмета экстерьера сложно представить не только комфортное времяпрепровождение в парке, но и дизайн городского ландшафта в целом [3, 14—16]. По эргономическим параметрам все парковые скамейки условно можно разделить на два типа — с опорной спинкой и без спинки. Первые предназначены для длительного сидения, вторые — для кратковременного отдыха. Лавки без спинок ставят по пути сильного пешеходного потока. В этом случае люди садятся отдохнуть, но не задерживаются.Эргономичной и комфортной для сиденья считается скамья, соответствующая следующим параметрам (рис. 12):

1) высота сиденья — 40—50 см, она обеспечивает позу, при которой ноги удобно опираются на землю и отдыхают;

2) ширина сиденья — 50—55 см, угол наклона внутрь — 5—12°;

3) угол наклона спинки — 15—40°, такая конструкция позволяет удобно откинуться и расслабить спину;

4) расстояние от сиденья до первых продольных реек спинки — 16–18 см (этот уровень совпадает с изгибом позвоночника);

5) оптимальная высота спинки — 35—45 см;

6) высота подлокотников по отношению к сиденью — 15—20 см;

7) стандартная длина скамейки — 1,6—3 м.

Красоту и удобство лавочки обеспечивают:

1) анатомическая форма спинки;

2) деревянная сидушка, брусья с небольшими прорезями;

3) подлокотники по бокам и посередине;

4) спинка под наклоном;

5) крепкие несущие элементы;

6) отсутствие острых граней.

Ставить открытую урну близко к лавочке — типичная ошибка. Мусорный контейнер должен быть обособлен от зоны отдыха. Хорошее современное решение — размещать закрытую урну напротив скамейки или в радиусе 3—5 м. Если урна все-таки ставится рядом с лавочкой, она должна быть полностью закрытой и герметичной (рис. 13).

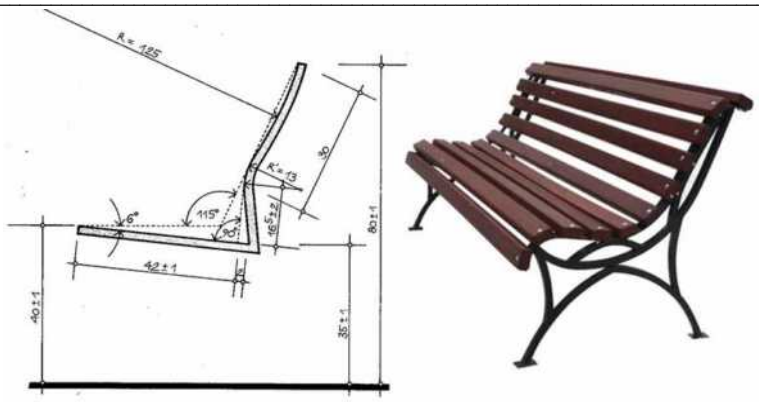


Рис. 12. Пример эргономичной и комфортной для сиденья скамья

Рис. 13. Пример закрытой урны около скамейки

В результате проведенного аналитического исследования были разработаны эскиз-проекты парковых скамеек (рис. 14—17).

Вариант 1 (рис. 14—15). Данная скамейка удобна и очень надежна. Благодаря тому, что она оснащена бетонными ножками, скамья является очень устойчивой. Ее можно установить в парках, скверах, на детской игровой площадке и на других территориях. Основные материалы — бетон и темный дуб. Скамья имеет анатомически правильно построенную форму (табл. 1): угол наклона спинки составляет 35º (позволяет удобно откинуться и расслабить спину), высота сиденья— 0,5м (обеспечивает позу, при которой ноги удобно опираются на землю и отдыхают), угол наклона сиденья внутрь — 6º, расстояние от сиденья до первых продольных реек спинки — 0,18 м (этот уровень совпадает с изгибом позвоночника), высота самой спинки — 0,35 м.

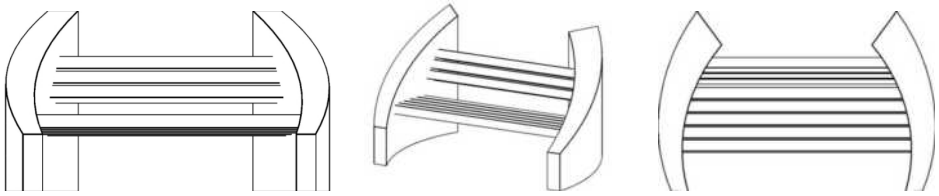


Рис. 14. Эскиз парковой скамейки

Рис. 15. Варианты размещения объекта в среде

Предложен следующий вариант изготовления. Для создания опорной части лавочки создается опалубка нужной формы, в которую затем заливается бетон. Для создания деревянной части используются рейки из темного дуба, покрытые лаком. Рейки крепятся с помощью металического профиля и закладных элементов под нужным углом непосредственно к застывшей опорной части лавочки.

Таблица 1

Габаритные размеры скамейки, м

Высота сиденья со спинкой	1,05	Общая высота скамейки	1,40
Ширина сиденья	0,87	Общая ширина скамейки	1,65
Длина сиденья	2,00	Общая длина скамейки	2,55

Вариант 2 (рис. 16, 17). Данная скамейка достаточно удобна для больших компаний. Она имеет треугольную форму, которая позволяет как сидеть, смотря друг на друга без нужды поворачивать головой, так и повернуться на другую сторону, спокойно находясь вдвоем или одному. Отсутствие спинки и необычная форма позволяют дать угол обзора 360º. Комфортная ширина в 40 см позволяет удобно сидеть на скамейке. Высота сиденья 0,5 м обеспечивает позу, при которой ноги удобно опираются на землю и отдыхают (табл. 2).

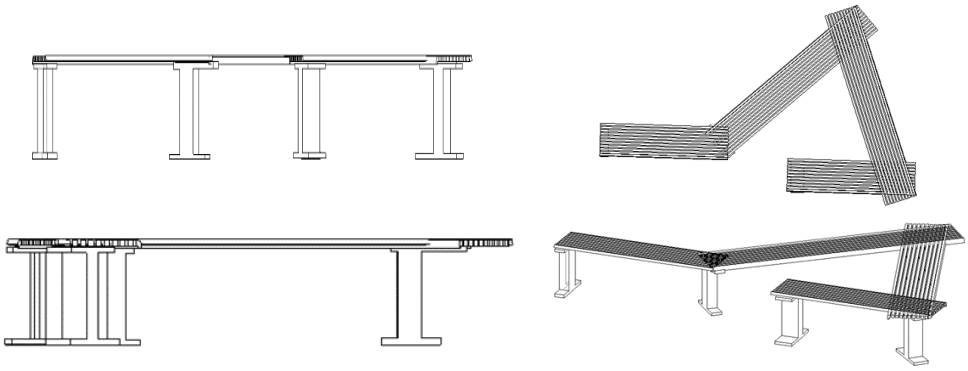


Рис. 16. Эскиз парковой скамейки

Рис. 17. Варианты размещения объекта в среде

Таблица 2

Габаритные размеры скамейки, м

Высота	0,5	Общая высота	0,5
Длина	0,4	Общая длина	2,4
Ширина	1,6	Общая ширина	3,9

Предложен следующий вариант изготовления. Для создания опорной части лавочки создаются ножки нужной формы путем сварки металлического каркаса из стального профиля. Для создания деревянной части используются рейки из канадского бука, покрытые лаком. Рейки крепятся к верхней части каркаса болтами и гайками.

В результате исследования были определены основные архитектурно-дизайнерские, архитектурно-планировочные и эргономические принципы проектирования парковой скамейки как малой архитектурной формы в парковой среде:

1. Современные архитектурно-дизайнерское принципы проектирования парковых скамеек предполагают либо минималистичное и лаконичное дизайнерское решение этой малой архитектурной формы, либо проектирование парковой скамейки как арт-объекта необычной формы;

2. В соответствии с архитектурно-планировочными принципами парковые скамейки могут располагаться вдоль парковых аллей и дорожек, могут образовывать самостоятельные лаунж-зоны либо могут быть размещены в наиболее привлекательных частях парка — около памятников, красивых видовых точек, в зонах тихого отдыха и пр.

3. В соответствии с эргономическими принципами парковые скамейки можно разделить на скамейки для длительного отдыха и скамейки для кратковременного отдыха. В том и другом случае эти объекты должны быть безопасны и удобны для посетителей.

В заключение можно сделать вывод о том, что проектирование парковой скамейки как малой архитектурной формы подчиняется общим задачам проектирования парка как максимально комфортной и привлекательной для посетителей городской территории. В соответствие с этим разрабатываются современные дизайнерские решения парковых скамеек, предлагаются новые технологические и конструктивные решения, новые материалы изготовления, новые варианты размещения парковых скамеек, которые в совокупности не противоречат витрувианскому принципу триединства пользы, прочности и красоты, создавая привлекательную, удобную и технически совершенную архитектурную среду современного парка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анопин В. Н., Матовникова Н. Г., Матовников С. А.* Архитектурно-планировочные и адаптивно-ландшафтные основы зелtного строительства на территории Волгоградской агломерации. Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. 159 с.

2. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Некоторые современные тенденции в теории и практике проектирования городских парков // Наука и образование: архитектура, градостроительство, строительство: материалы Международ. конф., 6—10 сентября 2010 г., Волгоград. Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. С. 386—391.

3. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Создание комфортной мультисенсорной среды как актуальная проблема современного паркового строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 22(41). С. 155—164.

4. *Савченко В. В.* Город для человека или гармонизация городской среды (открытые городские пространства: парки, скверы) // Архитектурные исследования. 2020. № 2(22). С. 124—133.

5. *Каримов У. Н., Облакулова Х., Кодирова Н.* Роль малых архитектурных форм в ландшафтном дизайне // Актуальные научные исследования в современном мире. 2017. № 6-3(26). С. 25—29.

6. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Философия проектирования городских садово-парковых комплексов: путь от традиции к инновации // Известия Ереванского государственного университета архитектуры и строительства. 2011. Т 2. № S24. С. 126—133.

7. *Сычева А. В.* Ландшафтная архитектура: учебное пособие для вузов. М.: Оникс, 2005. 87 с.

8. Kaplan R. Citizen participation in the desing and evaluation of a park // Environment and Behavior. 1980. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 494—507.

9. *Lebedeva A. A., Korotkova V. F., Kolokolova N. M.* Landscape desing: trends and perspectives // Язык и межкультурная коммуникация: сб. статей XI Международной науч.-практич. конф. 2019. С. 151—153.

10. *Loukaitou-Sideris A.* Urban form and social context: cultural differentiation in the USS of urban parks // Journal of Planning Education and Research. 1995. Vol. 14. Iss. 2. Pp. 89—102.

11. *Матовникова Н. Г.* Комплекс архитектурно-планировочных методов создания и рекультивации городских парков // XI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: тезисы докладов. С. 156—158.

12. *Горохов В. А., Лунц Л. Б.* Парки мира. М.: Стройиздат, 1985. С. 328.

13. Richard C. Surveying small urban spaces // Structural Survey. 1996. Vol. 14. Iss. 4. Pp. 10—20.

14. *Anopin V. N., Matovnikov S. A., Matovnikova N. G.* The features of the establishment and maintenance of parkland in the solution of the problems of urban agglomerations in Volgograd // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1972—1977.

15. *Matovnikov S. A., Matovnikova N. G.* Innovative urban planning methods for the urban landscape design in the Volgograd agglomeration // Procedia Engineering. Vol. 2. 2nd International Conference on Industrial Engineering — ICIE 2016. Pp. 1966—1971.

16. *Kovalyova G. N.* Condition of recreational spaces in Volgograd at the present stage and their influence on socio-cultural life of the city // Internet-Vestnik VolgGASU. 2010. № 3(13). P. 11.

© Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Казакова А. В., Христюкова А. С., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Основы проектирования парковой скамейки как малой архитектурной формы в парковой зоне / Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, А. В. Казакова, А. С. Христюкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 165—175.

Об авторах:

Матовникова Наталья Геннадьевна — канд. географ. наук, доц., доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет

(ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikova@yandex.ru

Самойленко Полина Васильевна — старший преподаватель каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; palasam@yandex.ru

Казакова Анастасия Владимировна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ankazakova381@yandex.ru

Христюкова Анастасия Сергеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nastya.hristyukova@gmail.com

Natal'ya G. Matovnikova, Polina V. Samoiylenko, Anastasia V. Kazakova, Anastasia S. Khristyukova

Volgograd State Technical University

FUNDAMENTALS OF DESIGNING A PARK BENCH AS A SMALL ARCHITECTURAL FORM IN A PARK AREA

The article analyzes domestic and foreign analogues of park equipment. We found modern and innovative examples of park benches, unusual and interesting in shape, creating new environmental situations in the park, created from new innovative materials. In the framework of the article, some modern methods of design of small architectural forms in a Park. As a result of the study, the main architectural design, architectural planning and ergonomic principles of designing a small architectural form in a park environment were determined. Sketch versions of benches in the park area are proposed.

K e y w o r d s: small architectural form, park benches, park equipment, design, ergonomics.

For citation:

Matovnikova N. G., Samoiylenko P. V., Kazakova A. V., Khristyukova A. S. [Fundamentals of designing a park bench as a small architectural form in a park area]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta*. *Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 165—175.

About authors:

Natal'ya G. Matovnikova — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

Polina V. Samoiylenko — Senior Lecturer of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; palasam@yandex.ru

Anastasia V. Kazakova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ankazakova381@yandex.ru

Anastasia S. Khristyukova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nastya.hristyukova@gmail.com

УДК 72.01

А. А. Плешивцев

Государственный университет по землеустройству

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ, ОТОБРАЖАЮЩИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены особенности комплексного свойства технологичности в контексте обеспечения функционального качества архитектурных объектов. Научная гипотеза состоит в признании свойства технологичности равнозначным основным составляющим (функциональной, конструктивной и художественно-эстетической) архитектурной композиции. Интеграция методологии и показателей технологической составляющей в состав целостного композиционного решения позволяет расширить возможности и области применения традиционных и перспективных архитектурных систем.

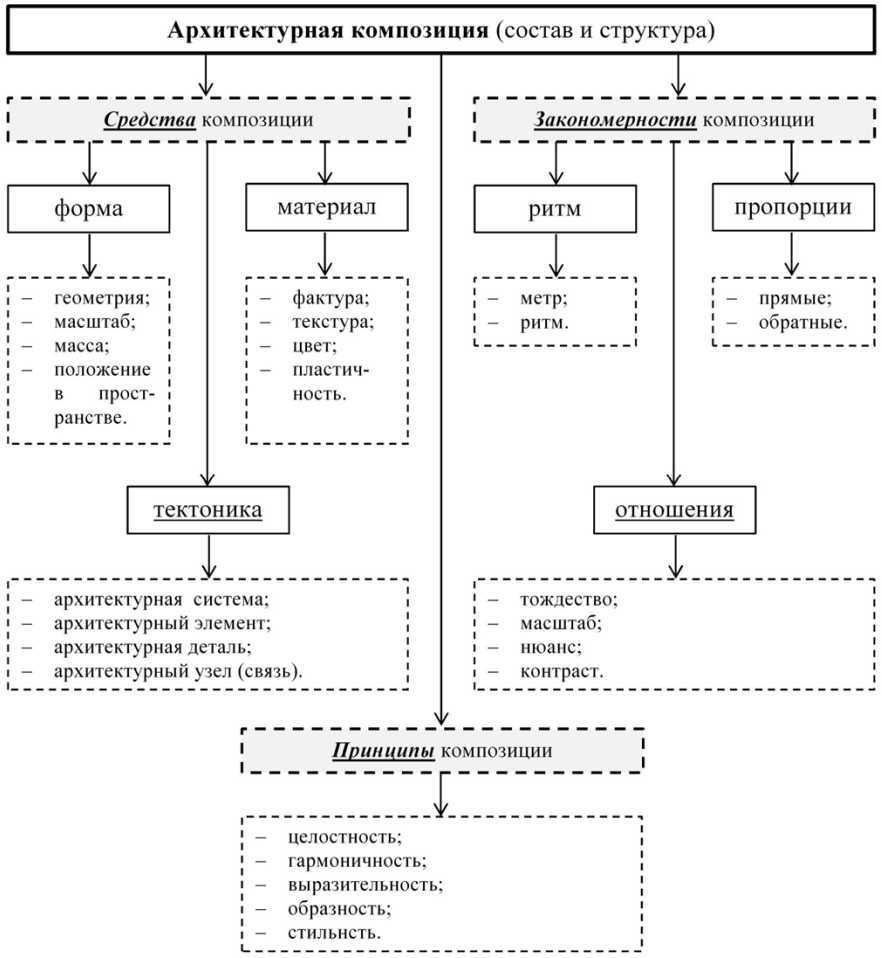
К л ю ч е в ы е с л о в а: архитектурные объекты, свойство технологичности, составляющие архитектурной композиции, функциональное качество, категории и показатели технологичности, инновационные технологии.

Принцип единства и взаимодействия основных составляющих (конструктивной, функциональной и художественно-эстетической) является классической методической основой архитектурной композиции по отношению к возможностям организации доступного архитектурного пространства [1, 2].

Каждая из возможных итераций (стадий) разработки композиционного решения характеризуется частным и дифференцированным составом приоритетов (художественно-образных, функциональных, экономических), ориентированных на последовательную реализацию целостной композиционной задачи. Вместе с тем, иерархически определенных или установленных (канонических) последовательностей разработки композиции не существует, даже в отношении формирования простых и несложных (в функциональном и эстетическом отношении) архитектурных объектов. Архитектурная композиция позиционируется в качестве основного (традиционного) способа решения задач архитектурного проектирования, связанных с формированием объекта в виде единой и гармоничной архитектурной формы, отображающей закономерное, эстетическое и гармоническое сочетания особенностей организации и взаимодействия внешнего и внутреннего пространства. Соотношение формы и содержания раскрывается в композиции объекта и определяется организацией взаимодействия структуры и функции, художественным отображением содержания и эстетическим восприятием формы [3—5].

На рисунке показаны состав и структура архитектурной композиции, которые характеризуют основные признаки, определяющие особенности формирования архитектурного объекта.

В таблице 1 представлены основные особенности отображения и восприятия архитектурной формы.



Структура и состав категорий архитектурной композиции

Таблица 1

Основные особенности архитектурной формы

Аспект восприятия	Характеристика отображения	Особенность (тип) восприятия
Идея архитектурной формы	сущность	философическое
Значение архитектурной формы	семантика	научно-теоретическое
Образ архитектурной формы	эстетика	художественное
Действия архитектурной формы	технология	логическое
Характер архитектурной формы	выразительность	эмоционально-психологическое
Организация архитектурной формы	функция	волевое
Сила архитектурной формы	безопасность	сенсорное
Конструкция архитектурной формы	материал, конструкция	тектоническое
Польза архитектурной формы	гигиена, комфорт	Интерпретационное и прикладное
Содержание архитектурной формы	смысл, назначение	морфологическое

Архитектурная деятельность направлена на формирование искусственных пространственных форм и образований, под которыми принято понимать организованные материальные структуры и связанные с ними функциональные процессы жизнедеятельности и производственной активности. Пространственные формы и образования, предназначенные для определенного вида утилитарно-функциональной деятельности, отображаются в виде соответствующих архитектурных систем объектов проектирования и систематизируются по определенным типологическим признакам и классификационным правилам.

Идентификация [6, 7]:

- «*элементность*» — состояние и возможность деления пространственной формы архитектурного объекта на структурные элементы;
- «*связанность*» — состояние и формы взаимодействия (связи) структурных элементов в составе целостной пространственной формы;
- «*целостность*» — состояние и возможность внутренней и внешней устойчивости структурных элементов в составе целостной пространственной формы по отношению к внутреннему и внешнему пространству архитектурного образа.

Соотношение формы и содержания раскрывается в композиции архитектурной системы (в формате архитектурного объекта), как характеристика организации системного взаимодействия основных элементов и частей (подсистем и элементов) и определяется единством структуры и функции, обусловленного художественным содержанием и эстетическим представлением. Создание архитектурных систем осуществляется посредством композиционного решения их пространственной структуры, которая формируется в точном соответствии с правилами и мировоззрением соответствующей исторической эпохи, уровнем развития производительных сил общества, а также современных ей технических и технологических возможностей [8, 9].

Функциональная составляющая композиции в значительной степени обусловлена задачами обеспечения установленных параметров функционально-технологических процессов, реализуемых при помощи разнообразных морфологических принципов соответствия формы и содержания. Таким образом, форма архитектурного образа является прямым отображением его функционального назначения, а творческий процесс формообразования базируется на определении необходимых свойств материалов и их преобразования в необходимые виды структурных элементов соответствующего вида архитектурной системы.

Архитектурная система становится результатом творческого процесса объектно-целевого проектирования и управления показателями функционального качества, которые соответствуют определенному этапу его жизненного цикла. Под функциональным качеством понимается мера соответствия архитектурного объекта установленному потребительскому ожиданию (пользе), определяемого его функционально-целевым назначением. Эффективность способов обеспечения, повышения или восстановления показателей функционального качества определяется особенностями имплементации методов традиционной и нетрадиционной (инновационной) технологичности разработки и формирования объектов архитектурного пространства [10, 11].

Приемы нетрадиционной технологичности способствуют расширению возможностей архитектурного творчества (при сохранении канонического подхода к применению архитектурной композиции) по формированию нового уровня функционального качества известных (традиционных) и принципиально новых и эффективных видов архитектурных систем. Применение методов и приемов нетрадиционной технологичности становится все более доступным для всех основных периодов жизненного цикла формирования функционального качества предметов и объектов архитектурного пространства. Инновационные способы проектирования, изготовления, возведения и эксплуатации способны отображать различные стилевые и функционально-технологические особенности эффективных и устойчивых архитектурных систем.

Взаимосвязь между условиями организации единства композиционного решения архитектурного образа и способами их практической реализации посредством соответствующих технологических приемов (операций) может быть охарактеризована комплексным свойством технологичности. Под технологичностью архитектурного образа (или технологичностью условий формирования целостной композиции архитектурного объекта) подразумевается разработка и реализация проектных (объемно-планировочных, конструктивных и художественных) решений посредством применения необходимых технологических приемов, с учетом особенностей состояния и доступности материальных и нематериальных ресурсов [12, 13].

Категорию (свойство) технологичности не принято рассматривать в качестве равнозначной по отношению к функциональной, конструктивной и художественно-эстетической составляющей единого композиционного решения архитектурного объекта. Гармония функционального назначения и технологической составляющей архитектурной композиции достигается преодолением определенных противоречий между технологическими возможностями определенного вида архитектурной системы (строительных материалов, из которых изготавливается архитектурная система) и способом организации взаимодействия структурных пространственных элементов (например: групп помещений и/или технологических зон).

В традиционном (каноническом) отображении композиционных решений исключительно функциональное назначение архитектурного объекта определяет условия для назначения соответствующего вида конструктивной (архитектурной) системы и формирования достаточных или необходимых эстетических свойств. Оптимизация способов изготовления (отдельных элементов или архитектурной системы в целом), транспортировки, возведения и эксплуатации продолжительное, в историческом отношении, время не рассматривалась в архитектурно-строительной деятельности совсем или обозначалась в заведомо подчиненном отношении к основным составляющим композиции.

Комплексная характеристика (свойство) технологичности отображает особенности формирования функционального качества архитектурных систем (подсистем, структурных элементов, узлов соединений) на основных этапах жизненного цикла: проектирования, изготовления, транспортировки к месту установки в проектное (функциональное) положение, возведения (монтажа) и эксплуатации [14, 15].

Технологичность функционального качества архитектурных систем определяет экономическую и энергетическую эффективность функционально-технологических процессов архитектурного объекта. Вне зависимости от функциональных и тектонических особенностей определенного вида архитектурной системы приоритетное развитие возможностей, методов и способов комплексного свойства технологичности направлено на снижение материалоемкости, стоимости и трудоемкости формирования элементов архитектурных объектов.

Решение задач, направленных на обеспечение установленного или перспективного уровня технологичности архитектурных систем подразумевает реализацию комплекса организационных, проектно-технических и экономических мероприятий:

- назначение критериев, количественных и качественных характеристик (показателей) технологичности;
- проведение исследований и прогноз увеличения технологичности отдельных структурных элементов и архитектурных систем в целом;
- определение оптимальной структуры архитектурной системы по установленным и/или перспективным критериям технологичности;
- обеспечение принятых (или установленных) показателей технологичности для изготовления, транспортировки, возведения (монтажа) и эксплуатации структурных элементов каждой из возможных архитектурных систем.

Комплексное свойство технологичности определяется системой количественных и качественных показателей, характерных для определенного этапа жизненного цикла архитектурного объекта.

Качественные показатели комплексного свойства технологичности (например, категории вида «лучше», «быстрее», «проще») характеризуют определенные субъективные и объективные особенности состояния и поведения отдельных структурных элементов и архитектурной системы в целом. Качественные показатели являются слабо формализуемыми критериями, которые не позволяют осуществить полноценный анализ (оценку уровня состояния) и определить количественный состав и объем мероприятий, необходимых для достижения установленных (или перспективных) параметров технологичности архитектурной системы [16, 17].

Анализ технологичности архитектурной системы с использованием качественных показателей предназначен для выявления критических участков взаимодействия составляющих композиционного решения и осуществляется с некоторым опережением аналогичного анализа технологичности по количественным показателям. Качественная оценка позволяет получить предварительную оценку состояния и возможностей для повышения (или достижения установленного) уровня технологичности.

Количественным показателем технологичности является величина, которая отображает одну или несколько особенностей технологичности отдельного структурного элемента или архитектурной системы в целом. Показатели, характеризующие только одно из свойств, называются единичными количественными показателями технологичности. В том случае, если показатель характеризует два и более свойств, то он является комплексным показателем технологичности [10, 14, 18].

Потребность в применении количественных показателей технологичности объясняется стремлением к перспективному повышению или установленной необходимостью достижения определенных функциональных (конструктивных, монтажных, эксплуатационных) характеристик архитектурной системы.

В таблицах 2—5 приведены некоторые количественные показатели технологичности, характерные для основных этапов формирования функционального качества архитектурных объектов.

Анализ уровня технологичности можно производить, используя приведенные в таблице показатели, а также и других показателей, которые более точно характеризуют особенности архитектурной системы в целом и/или ее отдельных структурных элементов.

Таблица 2

Количественные показатели технологичности. Изготовление

Вид (этап) технологичности	Наименование показателя	Единица измерения	Примечание
Изготовление	Масса конструктивного элемента (системы), $И_1$	т	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Количество типов конструктивных элементов в составе системы, $И_2$	шт.	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Габаритные размеры конструктивного элемента (системы), $И_3$	м	То же
	Трудоемкость изготовления конструктивного элемента (системы), $И_4$	человеко-часы	То же

Таблица 3

Количественные показатели технологичности. Транспортировка

Вид (этап) технологичности	Наименование показателя	Единица измерения	Примечание
Транспортировка	Стоимость транспортировки конструктивного элемента (системы), $Т_1$	руб.	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Грузоподъемность транспортных средств для перемещения конструктивного элемента (системы), $Т_2$	т	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Уровень механизации (затрат машин) при погрузке — разгрузке конструктивного элемента (системы), $Т_3$	машино-смены	То же
	Уровень использования грузоподъемности транспортных средств, $Т_4$	доля от единицы	Чем ближе значение показателя к 1, тем выше технологичность

Таблица 4

Количественные показатели технологичности. Возведение

Вид (этап) технологичности	Наименование показателя	Единица измерения	Примечание
Возведение	Продолжительность возведения конструктивного элемента (системы), $В_1$	дни	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Стоимость возведения конструктивного элемента (системы), $В_2$	руб.	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Максимальное (среднее) число рабочих, на период возведения конструктивного элемента (системы), $В_3$	человек	То же
	Уровень механизации (затрат машин) приемов при возведении конструктивного элемента (системы), $В_4$	машино-смены	То же

Таблица 5

Количественные показатели технологичности. Эксплуатация

Вид (этап) технологичности	Наименование показателя	Единица измерения	Примечание
Эксплуатация	Срок службы конструктивного элемента (системы), $Э_1$	год	Чем больше значение показателя, тем выше технологичность
	Затраты на поддержание эксплуатационной пригодности конструктивного элемента (системы), $Э_2$	руб.	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность
	Трудоемкость восстановления эксплуатационной пригодности конструктивного элемента (системы), $Э_3$	человеко-часы	Чем меньше значение показателя, тем выше технологичность

Количественная оценка технологичности предназначена для разработки мероприятий, направленных на устранение критичных особенностей, выявленных при качественном анализе композиционных решений архитектурной системы. Количественные показатели являются единственно объективными показателями качества решений, ориентированных на взаимодействие организационных и технологических факторов с целью получения рациональных результатов (функционального качества) архитектурного объекта.

Целевая функция, составленная из определенного числа количественных показателей и их весовых значимостей, рассматривается в качестве основно-

го инструмента, предназначенного для анализа характеристических показателей технологичности архитектурной системы и/или ее отдельных структурных элементов [14, 18, 19].

Количественные показатели вида «трудоемкость», «материалоемкость» и «стоимость» («себестоимость») пригодны для анализа всех этапов формирования трудоемкости архитектурной системы (см. табл. 2—5). Вместе с тем, при формировании целевой функции для оценки уровня технологичности целесообразно оптимизировать количественный состав количественных показателей посредством исключения или минимизации:

- включения малозначимых (низкой весовой значимости), неформализованных и дублирующих друг друга показателей;
- включения показателей, влияющих на окончательный результат посредством других (вспомогательных) показателей;
- включения показателей, характеризующихся большим количеством определяющих факторов или нескольких определяющих параметров.

Постановка и решение задач управления показателями технологичности и результатами функционально-технологического формообразования архитектурных систем становятся характерным признаком современного исторического периода и тесно связаны с развитием строительного знания и достижениями научно-технического прогресса, в том числе и в смежных, по отношению к архитектурной науке, областях знания.

Способность архитектурной системы к устойчивому функционированию в условиях возможных негативных воздействий (в том числе и таких, которые недостаточно отображены в действующих требованиях нормативных документов и правилах проектирования), определяется моделированием разнообразных «сценариев» проявлений негативных факторов. Под негативными воздействиями подразумеваются аспекты искусственной и естественной окружающей среды, с которыми архитектурное пространство (в формате архитектурного образа определенного функционального назначения) находится в непрерывном и динамично изменяющемся контакте.

Полученные результаты анализа учитываются посредством необходимых конструктивных решений (организации способов резервирования функциональных возможностей конструкции или снижения «чувствительности» конструкции по отношению к рассматриваемым воздействиям) и отображаются в соответствующих технологических приемах (операциях) при ее изготовлении, возведении и эксплуатации.

Инновационная архитектурная система одновременно с функционально-технологической пользой, художественно-эстетической выразительностью и конструктивной безопасностью (прочностью, устойчивостью) должна подтверждаться соответствующим уровнем технологичности, который обеспечивает показатели экономичности возведения и эксплуатационной эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Степанов А. В., Мальгин В. И., Иванова Г. И.* Объемно-пространственная композиция. М.: Архитектура-С, 2007. 254 с.

2. *Krier R*. Architectural Composition. Berlin. Edition Axel Menges, 2010. 344 p.

3. *Корнилова А. А., Антончева Л. А*. Методологическая связь композиции и архитектурного проектирования // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании. Материалы международной научно-методической конференции. Новосибирск, 2016. С. 290—293.

4. *Заварихин С. П.* Архитектура: композиция и форма. М.: Юрайт, 2018. 186 с.

5. *Раппапорт А. Г.* К пониманию архитектурной формы: дисс. … д-ра искусствоведения. Москва, 2000. 266 с.

6. *Шубенков М. В.* Структура архитектурного пространства: дисс. … д-ра архитектуры. Москва, 2006. 335 с.

7. *Kaveh A., Ghazaan M. I.* Meta-heuristic Algorithms for Optimal Design of Real-Size Structures. New-York: Springer, 2018. 168 p.

8. *Charlett A. J., Maybery-Thomas C.* Fundamental Building Technology. New-York: Routledge, 2013. 392 p.

9. *Маклакова Т. Г.* История архитектуры и строительной техники. Современная архитектура. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. 248 с.

10. *Aksamija A.* Integrating Innovation in Architecture: Design, Methods and Technology for Progressive Practice and Research. London: Academy Press, 2017. 264 p.

11. *Маковская Ю. С.* Современные инновационные технологии в жилищном строительстве // Молодой ученый. 2017. № 22(156). С. 52—55.

12. *Гусев Е. В., Мухаметзянов З. Р., Аптыков Д. Г.* Современные аспекты анализа технологии строительства объекта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 12. С. 56—59.

13. Advanced Construction Technology / R. Greeno, R. Chudley, M. Hurst, S. Topliss. London: Heinemann, 2012. 672 p.

14. *Кузнецова Е. В.* Модели и методы оценки технологичности проектов объектов строительства: дисс. … канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2000. 167 с.

15. The new age of engineering and construction technology / J. L. Blanco, A. Mullin, K. Pandya, M. Sridhar. URL: https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-new-age-of-engineering-and-construction-technology.

16. *Лиханский Ю. И.* Метафоры техномира в архитектуре XX века. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. 148 с.

17. *Harty C.* Innovation in construction: a sociology of technology approach // Building Research & Information. 2005. Vol. 33. Iss. 6. Pp. 512—522.

18. *Лебедев В. М., Ломтев И. А.* Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2017. № 11. С. 80—83.

19. *Попова А. Н.* Совершенствование комплексной методики оценки конкурентоспособности инновационной строительной продукции: дисс. … канд. эк. наук. Москва, 2009. 126 с.

© *Плешивцев А. А., 2021*

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Плешивцев А. А. Количественные показатели технологичности, отображающие особенности композиционных решений архитектурных объектов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 176—185.

Об авторе:

Плешивцев Александр Александрович — канд. техн. наук, доц. каф. основ архитектуры, Государственный университет по землеустройству. Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15; perspektiva-aa@mail.ru

Aleksandr A. Pleshivtsev

Moscow Institute of Land Use Planning

QUANTITATIVE INDICATORS OF TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS, WHERE DISPLAYING FEATURES FOR COMPOSITE SOLUTIONS ARCHITECTURAL OBJECTS

The article considers the peculiarities at the complex property of technological in the context for ensuring the functional quality for architectural objects. The scientific hypothesis consists in recog-

nizing the property technologic as equivalent to the main component (functional, constructive and artistic-aesthetic) for the architectural composition. The integration of the methodology and indicators of the technological component into the integral composite solution allows expanding the capabilities and applications in traditional and promising architectural systems.

K e y w o r d s: architectural objects, technological effectiveness, components of architectural composition, functional quality, technological categories and indicators, innovative technologies.

For citation:

Pleshivtsev A. A. [Quantitative indicators of technological effectiveness, where displaying features for composite solutions architectural objects]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 176—185.

About author:

Aleksandr A. Pleshivtsev — Candidate of Engineering Sciences, Moscow Institute of Land Use Planning. 15, Kazakova st., Moscow, 105064, Russian Federation; perspektiva-aa@mail.ru

УДК 72.01

Г. А. Алиева

Администрация г. Дербента

К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ОБОРОНИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И КРЕПОСТЕЙ В ДАГЕСТАНЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГОРСКУЮ АРХИТЕКТУРУ В XIX В.

Цель исследования — выявление огромного пласта строительного и культурного наследия в области фортификации и возведения оборонительных сооружений Российской империи в XVII—XIX вв. на территории нынешнего Дагестана, включающего особенности возведения укреплений в условиях сложного пересеченного рельефа с использованием отрицательных, на первый взгляд, свойств в положительном ключе, а также нахождение точек соприкосновения и взаимовлияния двух строительных культур — равнинной и горской.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Кавказ, крепости, горские поселения, дом-башня, аул, жилая единица, хозяйственные помещения.

Колоссальное влияние, оказанное российской колониальной политикой XIX в. на развитие края с многовековой драматичной историей, в процессе длительного и сложного установления единства отразилось на культуре, менталитете, политике и экономике и без того этнически богатого Дагестана. Методы и средства ведения этой политики визуально отразились на специфике возведения и облике российских оборонительных сооружений и гарнизонов.

Во избежание тенденциозного и эмоционально насыщенного подхода к рассмотрению проблемы интеграции русской культуры в полиэтническую среду Дагестана придется отринуть привычную методологию изучения истории, с ее поверхностно-противопоставленными позициями: жестокое завоевания, добровольное присоединение.

Широкий спектр не рассмотренных ранее промежуточных форм взаимодействия между народами позволяет выявить пути отражения последних на архитектуре жилых и хозяйственных строений горцев.

Раскрытием вопроса влияния России на социально-экономическое и культурное развитие народов Дагестана занималась историк кандидат исторических наук, доцент филиала Дагестанского государственного университета в г. Кизляре Гарунова Нина Нурмагомедовна.

Из исторических источников известно, что до Кавказского похода Петра I в 1722 г. южным форпостом государства Российского служил город Терки, более 140 лет выполняя свою важную функцию военно-стратегической опоры. В состав города входили деревянный кремль, квадратный в плане, с четырьмя глухими башнями и тремя воротами, и примыкающая к нему земляная крепость с башнями, жилой слободой и базарами. Преследуя цель укрепиться в мирно присоединенных позициях, петровское командование приступило к строительству крепости с символическим названием Святого Креста (рис. 1). Шестибастионная крепость, достаточно мощная по тем временам, располагалась в устье реки Койсу и вмещала гарнизон в полторы тысяч человек и более, 20 пушек. Наличие этих двух оборонитель-

ных пунктов еще задолго до Кавказской войны свидетельствует о первых признаках взаимодействия жителей Дагестанского плоскогорья с крепостными казаками, активной торговле и культурном обмене. Традиционной политикой было принятие беглых крестьян из феодальных владений Дагестана с условием принятиях христианства, если это условие не принималось, то бежавших возвращали владетелям [1, с. 256].

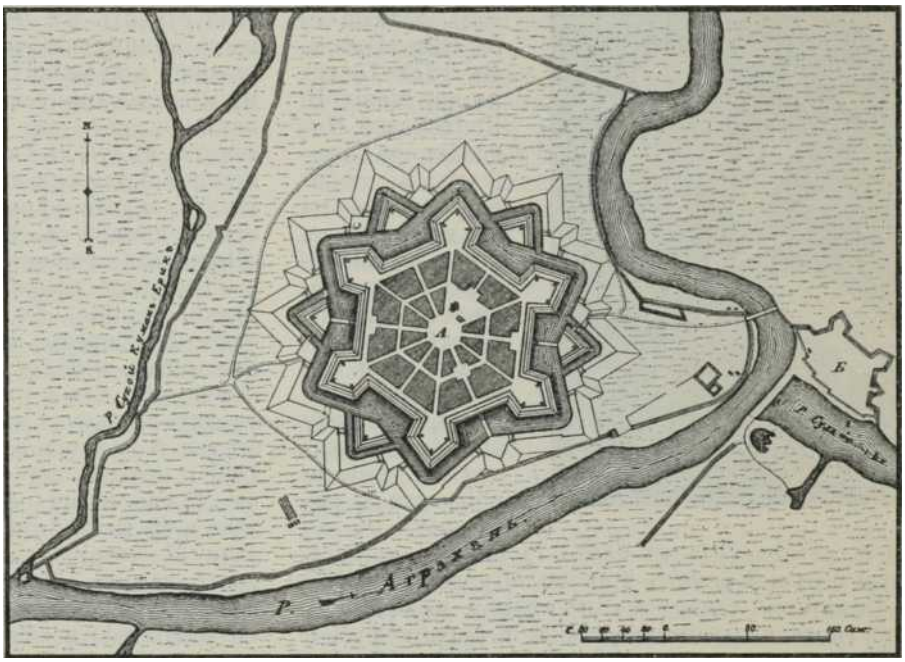


Рис. 1. План крепости Святого креста (*Ласковский Фёдор Фёдорович*. Карты, планы и чертежи к I, II части материалов для истории инженерного искусства в России. 1725 г.)

Классическая по своему характеру, выстроенная на относительно плоском рельефе, крепость за столь короткий срок существования выполнила важную геостратегическую роль в кавказской политике России.

Следующая по значению крепость — Кизлярская, или Кизляркала («кала» — крепость — рис. 2), за строительством которой следил инженер-поручик Строгов [2]. Грандиозное по тем временам фортификационное сооружение имело форму правильного пятиугольника с 5 бастионами по углам и 3 равелинами. Длина каждой стороны составляла 200 м, стены возвышались на 3,5 м, равелины высотой в 4 м, состоящие из рва и вала, в крепость вели трое врат с примыкавшими к ним чугунными мостами на цепях (убирались на ночь) [3, с. 63].

Крепость благополучно выполняла свою функцию, периодически подвергаясь нападениям, а находящееся там командование было уполномочено принимать в российское подданство дагестанских владетелей. Являясь немаловажным звеном в цепи Моздокской оборонительной линии, крепость Кизляр соединялась с аналогичной ей крепостью Моздок дорогой, являясь вкупе с ней стратегическим рубежом российской государственности и играя важную роль в укреплении торгово-экономических отношений с народами Дагестана.

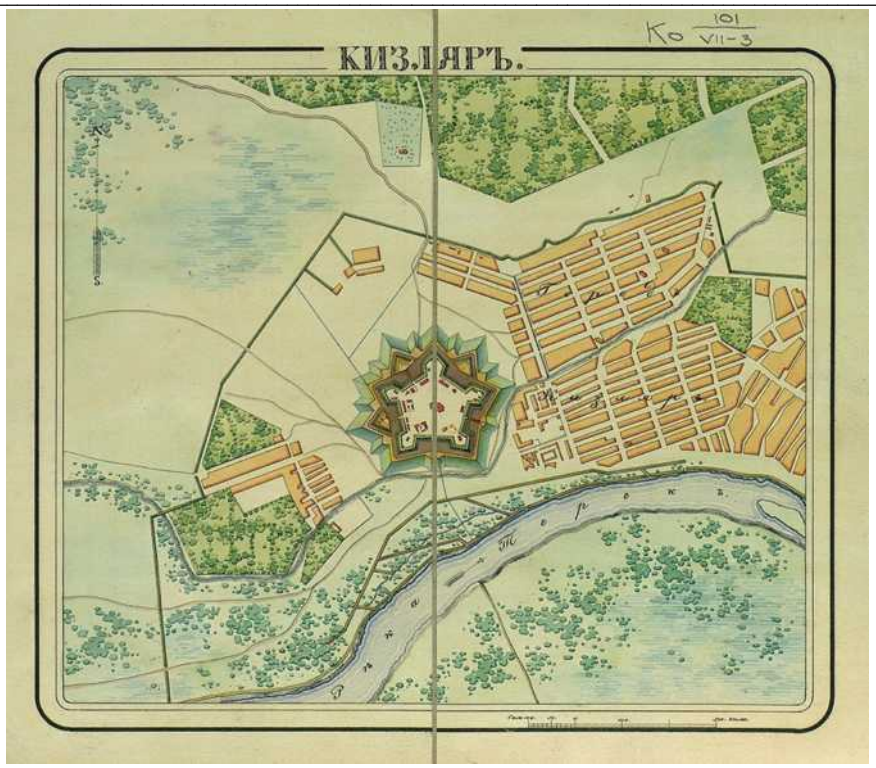


Рис. 2. План крепости Кизляр

Занимаясь отходничеством (распространенным в те времена явлением ухода из поселений в места с более развитыми промышленностью и сельским хозяйством с целью заработка) и активным товарообменом с казаками, горцы Дагестана более и более знакомились с культурой и бытом иноземцев, перенимая у них навыки ведения хозяйства и быта, что, безусловно отразилось, на характере жилья и хозпостроек горцев.

Также немаловажной и открывающей широкие перспективы взаимодействия и взаимопроникновения культур являлась система аманатов, или заложников. Каждый феодальный владетель, вступая в российское подданство и обязуясь сохранять мирные отношения, выдавал русскому командованию в качестве «амантчика» члена своей семьи (сына, брата) в возрасте от 7 до 20 лет. Последним назначалось содержание более 100 руб. в год и размещение на специально отведенном в крепости подворье — аманатном дворе. Аманаты по итогам являлись самыми действенными проводниками идей и практик на собственные земли.

Подобный угол зрения позволяет считать усилившиеся контакты между феодальными образованиями и русской военной администрацией в рассматриваемый исторический период весьма разносторонними и результативными.

Вслед за этим правление Александра I взяло курс на проведение дальнейших мероприятий, направленных на укрепление военного положения России на Кавказе. Преобразования начались с устранения от командования генерала Кнорринга и назначения на пост главнокомандующего российскими войсками на Кавказе Павла Дмитриевича Цицианова. Активные действия ге-

нерала Цицианова по укреплению военно-стратегического плацдарма начались со строительства Военно-Грузинской дороги и реорганизации всей кавказской линии.

С самого начала Кавказской войны укрепление Темир-Хан-Шура (рис. 3) приобрело большую известность, так как продвижение русских войск в горы осуществлялось через это селение, что и повлияло на необходимость скорейшего возведения военного укрепления. Правителю этих земель Шамхалу Тарковскому было выгодно строительство крепости с точки зрения укрепления своей власти под протекцией России. Первым о строительстве крепости рапортовал генерал Граббе, затем заменивший Ермолова на посту командующего войсками генерал Паскевич. Таким образом, строительство оттягивалось до решительного продвижения горцев в войне. После захвата крепостей Бурная и Внезапная войсками восставших в Дагестан были направлены царские войска под командованием генерал-адъютанта Розена. Оценив положение аула как важного стратегического пункта и центра коммуникаций равнинного и горного Дагестана, генерал приказал обнести селение крепостной стеной высотой 2,5 м, соорудить пять двухэтажных каменных башен для обороны четырех массивных ворот-входов в крепость. Примечательной особенностью укрепления являлось то, что, имея классическую схему крепостных сооружений эпохи, она была буквально встроена в существующий рельеф, с наиболее выгодным использованием его характеристик, будучи опоясанной стенами с трех сторон, а с четвертой, северо-западной, стороны ее защищала Кавалер-батарея — скальное образование значительной высоты. На скале также была выстроена башня цилиндрической формы с возможностью кругового обстрела из 16 бойниц [4].

Рис. 3. Темир-Хан-Шура: *а* — вид на Кавалер-батарею;
б — цилиндрическая башня с 16 бойницами в Темир-Хан-Шуре

Помимо крупных крепостей повсеместно на подконтрольных России территориях велось строительство опорных пунктов с дальнейшим заселением в них женатых солдат. Это важное стратегическое решение было принято генералом Ермоловым, считавшим, что строительством одних крепостей завоевать и удержать непокорный край будет сложно. В число укреплений во-

шли: Низовое, Евгеньевское укрепление, Чир-юрт, Кутиша и др. По описанию историка Гаджиева, возведение укреплений производилось следующем образом: «Облюбованная местность обносилась рвом. Из вырытой земли сооружали вал. На него насаживали колючки, причем не со всех сторон, а с той, откуда обычно ждали противника. Кроме того, строили самое большее два бастиона с амбразурами. Они обычно были расположены по диагонали. Для входа в укрепление обычно ставили стальные ворота. Если имелись пушки, то они служили как для устрашения нападавших, так и для салютов в честь праздников или приезда именитых гостей» [5, с. 8]. По такому же принципу были возведены небольшие крепости-укрепления, такие как Бурная, Внезапная, застава на берегу реки Чираг-чай.

По окончании Кавказской войны необходимость в содержании небольших крепостей и укреплений отпала, пушки и снаряды были вывезены, а сами строения были разобраны местными жителями и использованы в качестве строительного материала. Для строительства жилья и хозяйственных построек местными жителями использовалось все, начиная от ворот, дверей, оконных рам, металлических деталей и деревянных перекрытий бывших военных сооружений, включая камень.

В 1837 г. по указанию императора Николая I приступают к строительству Хунзахской цитадели, или так называемой Аранинской крепости (рис. 4), для того чтобы укрепиться в завоеванных землях Аварии. По этому случаю в Хунзах прибывает генерал Фезе и избирает для строительства крепости старый дворец, изначально занимавший командную позицию над селением и окружающими его территориями. Важной особенностью является то, что в возведении крепости активное участие принимали сами хунзахцы, перенимая технику кладки, устройства оконных проемов и другие принципы строительства у русских солдат. Цитадель, окруженная стенами высотой в 6 м, была выстроена в течение недели. Капониры, соединяющие башни блокгауза, состояли из двойных стен высотой в 3 м.

Рис. 4. План-схема Аранинской крепости. Внутри:
казармы, лазарет, цейхгауз, склады

В цитадели дислоцировался четвертый батальон Апшеронского полка до тех пор, пока не был взят войсками восставших горцев, осадивших цитадель на целых 8 лет, до прихода русских войск в 1859 г. во главе с князем А. Барятинским.

За время продолжительной Кавказской войны были выстроены не только каменные крепости и укрепления, но и деревянные мосты, переправы, башни. Одной из них являлась Миатлинская переправа, однажды зарисованная самим Михаилом Юрьевичем Лермонтовым (рис. 5).

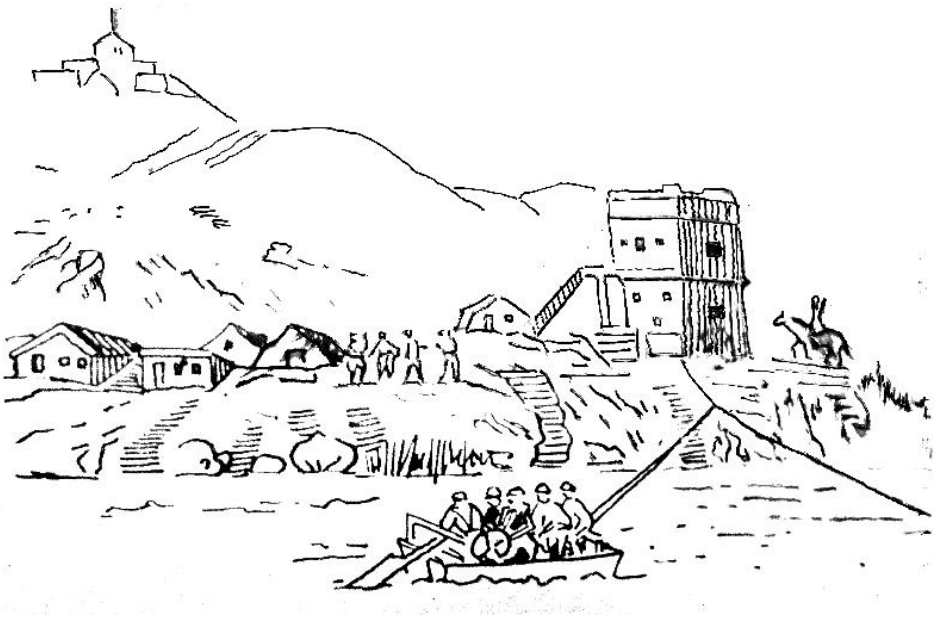


Рис. 5. Зарисовка М. Ю. Лермонтова. Переправа через Сулак в 1840 г.

Переправа состояла из двух деревянных башен, расположенных по обе стороны реки Сулак для обеспечения паромного сообщения. Рядом с одной из башен имелся земляной редут, за башней располагался деревянный блокгауз, обнесенный каменной стеной с кровлей из саманного кирпича. Неудачное расположение переправы, окруженной горами и пересеченной местностью, столь удобными для противника, вскоре заставило войска покинуть ее. До наших дней дошли лишь каменные фундаменты башен и блокгауза, по всей видимости, дерево как редкий и ценный материал в горах было переработано местными жителями для собственных строительных нужд. Согласно архивным данным, лес привозился из Астрахани компанией «Кавказ и Меркурий».

Участие местных жителей в строительстве крепостей и укреплений в Кавказскую войну доподлинно известно благодаря опросам, составленным во время экспедиций в аулы, где в ту пору дислоцировались русские войска. В одной из хунзахских семей хранится письмо деда, в котором особенно выделяются следующие строки: «В конце каждого рабочего дня нам выдавали по 70 копеек, что было существенной помощью в ту пору».

В целом управление Дагестаном носило унифицированный характер, завоеванные ханства получали статус округов и подчинялись военно-народному управлению, все это зафиксировано в «Положении об управлении Дагестанской областью» от 5 апреля 1860 г., утвержденном князем А. И. Барятинским. Таким округом стало и богатейшее Кази-Кумухское ханство после завоевания русскими войсками под командованием Ермолова. Укрепление было заложено лишь в 1843 г., позднее перестроено в мощную крепость с бойницами (рис. 6).

Рис. 6. Кази-Кумухская крепость (фото автора)

Аналогичное крепостное сооружение, но более масштабное и стратегически важное, было выстроено русскими войсками на склоне Гуниб-горы. Строительство стало возможным только после сдачи Имама Шамиля (предводителя восставших горцев) 25 августа 1859 г. Для этой цели царское правительство было вынуждено выселить местное население ниже по склону, с поселением крепость сообщалась посредством подземного тоннеля (беспрепятственная подача продовольствия в случае осады). На все подготовительные мероприятия ушло несколько лет, и по итогу первый камень был заложен лишь весной 1862 г. Стены протяженностью более 4 км были сложены из камня и имели высоту 4 м и толщину 1 м. Живописно проложенные вдоль гребней гор, усеянные амбразурами стены прерывались у крутых обрывов башнями, создавая надежный оборонительный пояс вокруг древнего аула Гуниб (рис. 7).

В стенах крепости образовался новый военный городок с площадью-плацем, вокруг которого к 1867 г. выстроили казармы, цейхгаузы, пороховые погреба, офицерские домики, небольшую школу и церковь. Площадь служила не только для ежедневной маршировки солдат, но в выходные преобразовывалась в базарную площадь, на которой местное горское население приобретало у русских купцов металлические и кожаные изделия, кухонную утварь, керосиновые лампы и многие другие предметы обихода. А горцы, в

свою очередь, активно сбывали сукно, шерсть, мед, масло, сыр и фрукты, тем самым наиболее тесно контактируя с русским населением.

Рис. 7. Гунибская цитадель (фото автора)

Давая объективную оценку деятельности российского командования в Дагестане, можно сказать лишь о прогрессивном влиянии на все сферы культуры и быта горцев. Экономический подъем, военная протекция русской армии, культурный расцвет и многое другое полностью изменили мировоззрение горцев, и первым дело эти метаморфозы нашли материальное выражение в коренном переустройстве горского жилья. Появились широкие, открытые солнцу галереи, остекленные проемы в стенах домов, дом перестал походить на крепость, а приобрел черты, дошедшие до наших дней. Помимо этого, трансформации подверглись и хозяйственные постройки, постепенно расширяясь (благодаря увеличению количества инвентаря и приросту поголовья скота), отделяясь от общей массы дома в отдельные строения (благодаря возросшим требованиям к уровню комфорта в доме).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кушева Е. Н.* Народы Северного Кавказа и их связи с Россией в XVI—XVII вв. М., 1963. 372 с.

2. *Байдуллаева Н. Р., Гарунова Н. Н.* Российская императорская армия на Кавказе в XVIII веке: история Кизлярского гарнизона (1735—1800 гг.). URL: https://scienceforum.ru/2013/article/2013009011>

3. *Гарунова Н. Н.* Российские города-крепости в контексте политики России на Северо-Восточном Кавказе в XVII — первой половине XIX вв.: проблемы политической, экономической и культурной интеграции: автореф. … дисс. д-ра истор. наук. Махачкала, 2007.

4. *Гаджиев В. Г.* Ворота в горы Дагестана. Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1966. 197 с.

5. *Гаджиев В. Г.* Роль России в истории Дагестана. М.: Наука, 1965.

© Алиева Г. А., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Алиева Г. А. К истории создания оборонительных линий и крепостей в Дагестане и их влияние на горскую архитектуру в XIX в. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 186—194.

Об авторе:

Алиева Галюшан Абдуллаевна — помощник главного архитектора г. Дербента, Администрация г. Дербента. Российская Федерация, 368600, г. Дербент, ул. 345 Дагестанской Стрелковой Дивизии, 8; g.alieva@markhi.ru

Galuyshan A. Alieva

Administration of Derbent

TO THE HISTORY OF THE CREATION OF DEFENSE LINES AND FORTRESSES IN DAGESTAN AND THEIR INFLUENCE ON MOUNTAIN ARCHITECTURE IN THE XIX CENTURY

The purpose of this study is to identify a huge reservoir of construction and cultural heritage in the field of fortification and the construction of defensive structures of the Russian Empire in the XVII—XIX in the territory of present-day Dagestan. The concept of "specificity" stated in the title of the article denotes the most characteristic features of the construction of fortifications in a complex rugged relief, using negative, at first glance, properties in a positive way, as well as finding points of contact and mutual influence of two building cultures of the plains and mountains.

K e y w o r d s: Caucasus, fortresses, mountain settlements, tower-house, village, residential unit, economic premises.

For citation:

Alieva G. A. [To the history of the creation of defense lines and fortresses in Dagestan and their influence on mountain architecture in the XIX century]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 186—194.

About author:

Galuyshan A. Alieva — Assistant Chief Architect, Administration of Derbent. 8, 345 Dagestanskoi Strelkovoi Divizii st., Derbent, 368600, Russian Federation; g.alieva@markhi.ru

УДК 72.035

Г. В. Мазаев

Институт УралНИИпроект (г. Екатеринбург) — филиал ЦНИИП Минстроя России

ЛИНЕЙНЫЕ ПЛАНИРОВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ «ИДЕАЛЬНЫХ» ГОРОДОВ РОССИИ XVIII — НАЧАЛА XIX ВЕКА

В статье рассмотрены планировочные системы «идеальных» городов России, формирование планов которых сложилось к началу XIX в. Показаны особенности формирования линейной формы плана городов и особенности их планировочных систем, вытекающие из свойств пространства, в котором осуществлялись линейные планировки. Выявлены парадоксы линейных планировочных систем: их раздробленность и слабая связь с рекой, ради которой они и создавались. Установлена связь типов планировки и типов планировочной организации центров линейных городов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: линейные планировочные системы, принципы формообразования, особенности планировки, типы городских центров.

В российском градостроительстве город и река всегда были вместе, но их союз сложен и противоречив. Река — постоянно меняющаяся природная данность, и город в своей планировочной структуре обязан ее учитывать и признавать ее ведущую роль. У российского и европейского градостроительства это происходило принципиально различно. Зодчие Европы — Леонардо да Винчи, да Джорджо Мартини и многие другие — пытались изменить реку, подстроить ее под город, придать ей такую же регулярность, как и планировке [1, 2]. В их проектах река превращалась в правильный канал с количеством мостов, определенным композицией плана города. Город чинил над рекой насилие. В российском градостроительстве река оставалась свободной, а город перестраивался под нее, изменяя свою планировку вслед за изгибами реки, выбирая видовые точки для главных городских зданий, старался раскрыть на реку как можно больше улиц и площадей [3—5].

Сложилось два принципиальных типа городов: «город у реки» и «город на реке». Первый располагался на берегу реки, для него она была внешним фактором. Второй включал реку в свою планировочную систему, она становилась внутренним планировочным элементом как естественная ее часть. Планировка этих двух типов городов складывалась и развивалась по-разному. «Город на реке» часто получал симметричную планировку, в которой река служила осью симметрии: таковы города Юхнов, Мосальск. «Город у реки» стремился максимально использовать преимущества внешнего фактора реки, поэтому его планировка часто приобретала ассиметричную форму. Система городского центра, его главные площади и здания смещались к реке, раскрывались во внешнее пространство, создавая «речной фасад» города. Планы регулярных российских городовXVIII — начала XIX в. почти всегда ограничены городским валом, но у «города у реки» вал отсутствовал с речной стороны, благодаря чему город получал связь с рекой. Эти особые имманентные свойства приречной планировки закономерно привели к появлению особого ее типа — линейной планировочной системы, или линейного города, который получил максимальную выгоду и пользу от реки.

Тип линейной планировки оформился в планировке регулярных городов России в начале XIX в., впоследствии став основным для многих приречных городов-миллионников, играя роль своеобразного «генетического кода», транслируя во времени особенности их пространственной организации. К числу «идеальных» городов России XVIII—XIX вв. с линейной планировочной системой относятся Спасск, Красный Холм, Касимов, Краснокутск, Чигирин, Царицын, Камышин, Молога, Черкасы, схемы планировок которых приведены на рис. 1.

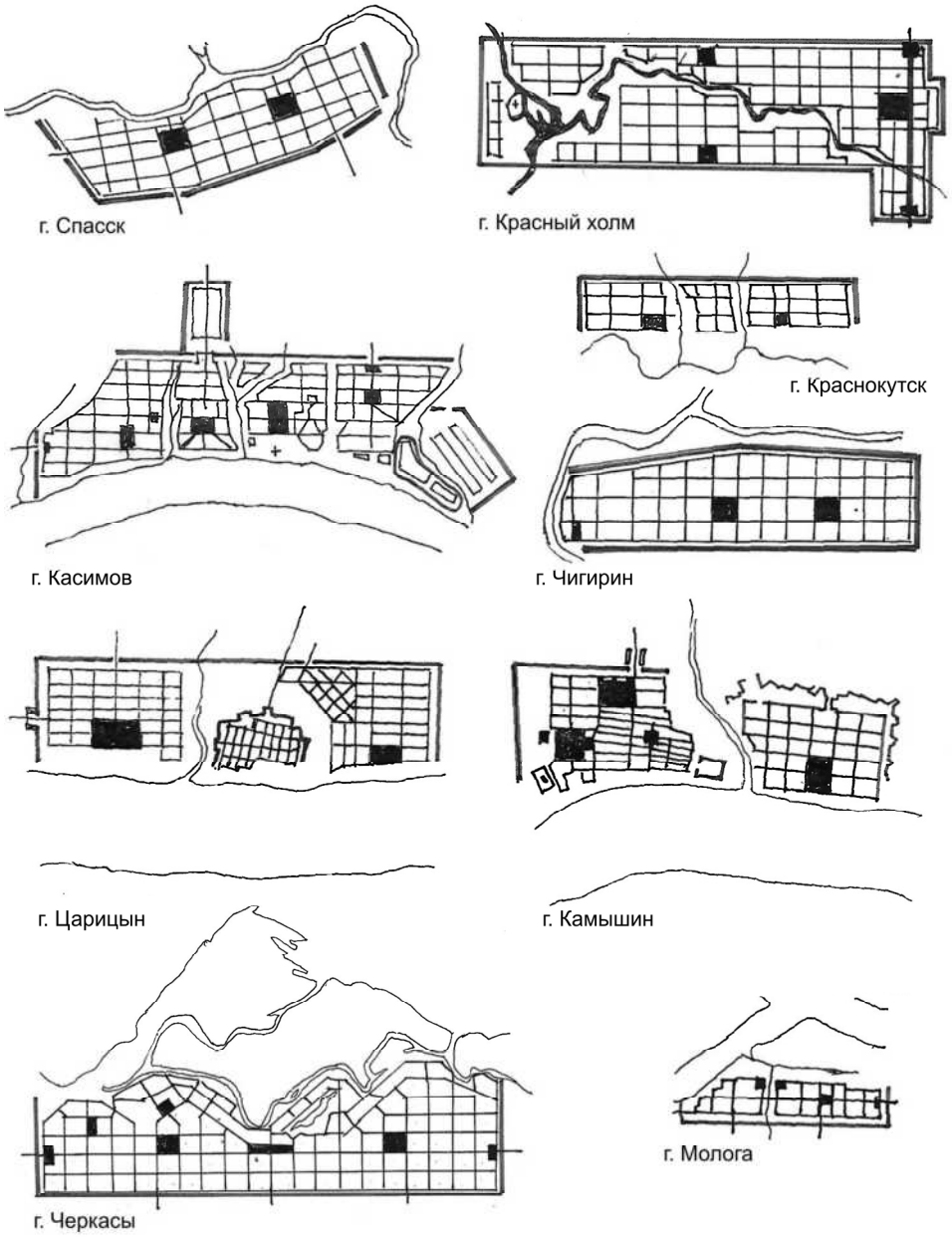


Рис. 1. Планировочные системы линейных городов XVIII—XIX вв. Авторский рисунок

Принципы формообразования линейных планов

Вполне очевидный признак линейного типа плана — его пропорции, отличающиеся вытянутостью формы. Линейную планировку получали как крупные города — Черкасы, Касимов, — так и совсем небольшие, как Молога и Краснокутск. Размер города не имел значения для выбора формы плана. Соотношение длины и ширины форм составляло от 1:3,5 (Камышин), 1:4 (Спасск, Чигирин, Касимов, Царицын, Красный Холм), до 1:4,5 (Краснокутск, Молога) и 1:5 (Черкасы).

Советский градостроитель О. К. Кудрявцев считал города с такими пропорциями формы плана «наиболее некомпактными» [6]. Разумеется, компактность этих форм плана очень низкая, но в этом типе планировки города и не ставилась задача повышения компактности. Увеличение протяженности города вдоль реки, чтобы продлить контакт с ней — этой цели добивались создатели линейных планировок. Следует заменить изначально отрицательное определение «некомпактные» на «максимально протяженные» города, что соответствует их типу. То, что это отдельный тип планировочной структуры города, отвечающий его задачам, говорит принципиально разное формообразование планов компактных и линейных городов [7, 8].

Анализ форм планов более ста российских городов установил закономерность в их пропорциях, аналогичную закономерностям построения планов зданий соборов Москвы, Киева и Владимира [9]. Она заключается в стремлении их формы к соотношению золотого сечения и выражается вполне четким графиком. Повторив этот анализ для линейных форм планов, получим закономерность их построения (рис. 2).

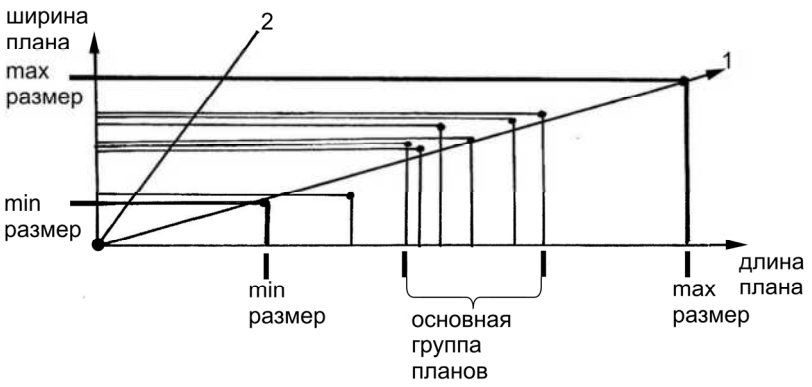


Рис. 2. Формообразование линейных планов городов. Авторский рисунок

Здесь принят ряд допущений: реальные формы планов формализованы и приведены к простой прямоугольной. Все формы планов совмещены. На рисунке хорошо видны минимальные и максимальные размеры планов (все планы в одном масштабе), а также основная группа планов наиболее распространенных форм. Закономерность их изменения — линейная, она выражена линией 1, почти полностью соответствующей угловым точкам форм планов основной группы.

Для сравнения закономерностей формообразования на рис. 2 также показана линия изменения форм планов компактных городов [9] — линия 2.

Видно, что формообразование компактных и линейных планов подчинено разным закономерностям. Это позволяет говорить о линейных планировках как о самостоятельной группе форм, образующихся и развивающихся по собственным закономерностям.

Особенности планировки линейных городов

Характерной особенностью линейных планировочных систем, определенной именно их протяженностью, является нарушение их целостности и связности, вызванное природными рассечениями — реками и оврагами. Это и понятно: чем протяженнее система, тем больше таких рассечений ей придется преодолеть. Царицын и Камышин рассечены на две части, Краснокутск — на три, а Касимов — на шесть частей. Рассечения нарушают целостность планировки, но линейных связей, объединяющих их, нет, и каждая часть изолирована и самостоятельна. Это хорошо видно в плане Царицына [10, 11], состоящем из трех совершенно разных планировочных элементов. Первый из них представляет план регулярного прямоугольного города, вполне самодостаточного, компактного и совершенно индифферентного к реке. Для оценки фактора связи города с рекой введем специальный показатель — «коэффициент речной ориентации планировочной системы» $K_{ро}$, выраженный соотношением улиц города, выходящих к реке и параллельных ей. Первый планировочный элемент Царицына имеет $K_{ро} = 1$, т. е. количество улиц, ориентированных на реку и параллельных ей, равно. О наличии реки говорит только сдвинутая к ней площадь.

Второй планировочный элемент — крепость овальной формы. Она имеет защитные сооружения с береговой стороны, с речной стороны они отсутствуют. Планировка крепости, как ни странно, более ориентирована на реку, $K_{ро} = 2{,}25$.

Третий элемент отделен от крепости широкой полосой предполья. Его планировка включает как часть старой застройки, развернутой к крепости, так и новую регулярную застройку. Но этот элемент имеет еще меньшую ориентированность на реку, его $K_{ро} = 0{,}75$, т. е. большинство улиц не выходит к реке, и только сдвинутая к ней площадь говорит о ее влиянии на планировку.

Такая же неравномерность «речной ориентации» и у плана Камышина. Два его планировочных элемента имеют $K_{ро} = 0{,}5$ и $1{,}2$; три площади из четырех удалены от реки.

Эти планы парадоксальны: линейные планировочные системы, вытянутые вдоль реки, практически с ней не связаны и не учитывают ее влияние. Другой парадокс — в распаде линейной системы уже в самый момент ее формирования. Это говорит об уязвимости линейных систем, определяемой свойством пространства их осуществления. Другая особенность планов Царицына и Камышина — разнородность планировок элементов, их составляющих, отсутствие единого планировочного модуля, что не позволяет даже в перспективе объединить их в целостную планировку.

Самый маленький линейный город Молога имеет более высокую ориентацию на реку: $K_{ро} = 3{,}3$, что превышает этот показатель для Царицына и Камышина.

Еще более раздроблен план города Касимова, рассеченный на пять отдельных частей. Но его планировка построена по единому модулю и может

быть преобразована в целостную систему. Несмотря на большую протяженность вдоль реки, речная ориентация планировки низкая: $K_{ро} = 1{,}4$.

Не все линейные планировки рассечены. Города Спасск и Чигирин рассечений не содержат, их планы целостные и очень похожие по построению: оба имеют по пять продольных улиц и почти равное количество поперечных улиц, выходящих к реке, — 12 и 14. Они имеют ясно выраженную ориентацию на реку, их $K_{ро}$ равны 2,4 и 2,8 соответственно.

Такая же целостная планировка у Черкас, которая имеет ярко выраженную особенность: в план города глубоко входит один из речных протоков. Это привело к созданию своеобразной двухчастной формы, сохранившую симметричность построения. Коэффициенты речной ориентации различаются, но оба они очень высокие: $K_{ро} = 5{,}25$ и 3,5, что составляет максимальное значение в группе линейных городов.

Уникальна планировка города Красный Холм: это тип «города на реке», обычно имеющего компактную форму плана, но его планировка линейная. Форма его плана следует за рекой, поворачивая за ее руслом. Пропорции плана 1:4. В планировке создалась ситуация, при которой, благодаря включению реки в планировку, почти все улицы — и продольные, и поперечные — выходят к реке. Лишь самые удаленные улицы, проходящие вдоль городского вала, не ориентированы на реку. Это дает необыкновенно высокий $K_{ро} = 8{,}7$. План города ограничен по периметру городским валом, что характерно для «города на реке». Такую же замкнутую структуру имеет и «город у реки» Чигирин, лишь незначительная часть его плана открыта. Это характерный планировочный прием его автора В. И. Гесте, который практически все проекты планов городов ограничивал городским валом с полосой озеленения, но план Черкас В. И. Гесте сделал открытым с речной стороны.

Планировочная организация центров линейных городов

Взаимодействие планировочной структуры города и его центра — предмет особого внимания градостроителей. В современной терминологии это вопрос соотношения «каркаса» и «ткани» планировочной системы. Существует несколько теорий их развития. А. Э. Гутнов отдавал приоритет развитию каркаса [12]. Иную гипотезу высказал Е. О. Трубецков: каркас и ткань развиваются совместно, проходя несколько последовательных стадий от простых форм к сложным [13]. Начальная стадия этого процесса — дисперсный каркас, состоящий из одного или нескольких элементов, не связанных в целостную систему. Следующая стадия — линейные формы каркаса, затем — лучевая и, наконец, сложная сетевая форма каркаса. Начальные формы соответствуют малоэтажной застройке, характерной для городов XVII—XIX вв. [14].

Теоретически планировки «идеальных» городов этого периода должны содержать только дисперсные и линейные каркасы, но оказалось, что это не так, и в их планах существуют все формы каркасов. Они запроектированы сразу в единой градостроительной композиции города [14].

Формы каркасов в линейных городах представлены на рис. 3. Планы городов Царицына [15, 16], Камышина, Краснокутска содержат только дисперсные элементы, представленные в основном всего одним центральным элементом в каждой планировочной части города. Это одна площадь, смещенная в планировке в сторону реки.

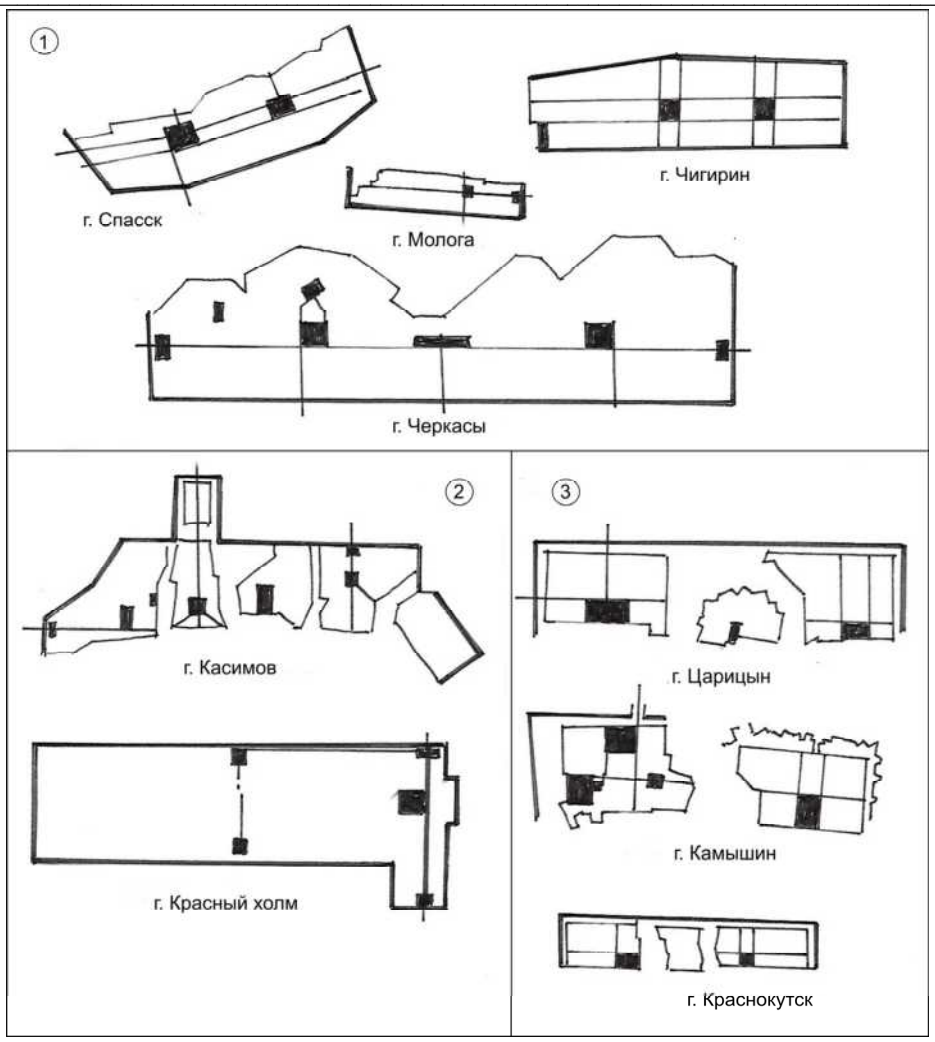


Рис. 3. Системы центров городов: *1* — линейные центры; *2* — смешанные типы центров; *3* — дисперсные центры. Авторский рисунок

Планы городов Касимова и Красного Холма содержат как дисперсные формы каркасов, так и простейшие линейные формы, состоящие из двух, максимум трех элементов. Это хорошо видно в плане Касимова: в двух частях города существуют дисперсные центры и в двух — простейшие линейные, состоящие из двух элементов.

Планировка городов Спасск и Молога включает линейные центры, состоящие из двух площадей с выходами к реке. В Мологе они расположены ассиметрично, в результате часть территории города остается без обслуживания. В Спасске площади расположены равномерно и охватывают всю территорию города.

В плане Чигирина количество элементов линейной системы центра увеличено до трех. Наиболее развита линейная система в Черкасах: она состоит из пяти элементов, построение симметрично, что говорит о ее целенаправленном формировании как единой градостроительной композиции.

Можно сделать заключение, что для линейных планировочных систем характерны простейшие формы каркасов. Это показывает их слабое планировочное развитие, а линейная форма их планировки не дает возможности создания более сложных их систем. Этому препятствует их большая протяженность и наличие многочисленных рассечений, что ведет к росту радиусов доступности центров и затрудняет их построение [17]. Линейные планировки городов требуют линейные же системы обслуживания, что проявилось уже на начальной стадии их формирования.

Планировочные характеристики городов России XVIII — начала XIX в. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Планировочные характеристики городов России XVIII—XIX в. линейной планировочной системы

Город	Состояние планировочной системы, кол-во кварталов/площадей (соотношение)	«Речная ориентация» города		K_{po}	Типы центра
		Выход на реку	Параллельно реке		
Спасск	44/2 (1:4)	12/2	5	2,4	1 линейный
Чигирин	51/3 (1:4)	14/3	5	2,8	1 линейный
Касимов	84/7 (1:4)	10/4	7	1,4	4 дисперсных
Краснокутск	26/2 (1:4,5)	11/2	4	2,75	2 дисперсных
Царицын	36/1 25/- (1:4) 40/1	7/1 9/- 6/1	7 4 8	1,0 2,25 0,75	1 дисперсный — 1 дисперсный
Камышин	40/3 (1:3,5) 26/1	7/3 7/1	14 6	0,5 1,2	3 дисперсных 1 дисперсный
Красный Холм	74/5 (1:4)	26	3	8,6	2 дисперсных 1 линейный
Молога	17/4 (1:4,5)	10/3	3	3,3	1 линейный 2 дисперсных
Черкасы	100/7 (1:5)	21/5	4—6	5,3—3,5	1 линейный 2 дисперсных

Заключение

Тип городов с линейной планировочной системой сформировался в российском градостроительстве уже в начале XIX в. Он развивался в типах приречных «городов у реки», а в отдельных случаях — и в планировке «города на реке». Линейные города отличаются по форме плана, имеющей вытянутые пропорции в пределах от 1:3,5 до 1:5. В силу линейности формы их планировка бывает значительно рассеченной, состоящей из отдельных планировочных элементов, образованных на разных планировочных модулях. Это не позволяет повысить целостность планировочной системы. Линейные города уже на начальной стадии формирования начинают «распадаться» в «линейно-узловые» системы. Этому способствует и слабая развитость их городских центров, представленных дисперсными и начальными линейными типами.

Многие линейные планировки, созданные для повышения связи города с рекой, имеют крайне низкую ориентацию планировочной системы на реку. В этом заключается главный парадокс линейной планировки.

Принципы формирования планов линейных городов, отличающиеся от компактных планов, особенности их планировочных систем, проистекающие из свойств пространства, в котором осуществляются линейные планировки, позволяют говорить о линейных городах России XVIII — начала XIX в. как об отдельном особом их типе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. S*hevchenko L., Novoselchuk N., Toporkov V.* Liner landscape spaces in the planning structure of the city // International Journal of Engineering and Technology. 2018. Vol. 7. Iss. 3. Pp. 672—679.

2. *Larkham P. J., Lilley K. D.* Plans, planners and city images: place promotion and civic boosterism in british reconstruction planning // Urban History. 2003. Vol. 30. Iss. 2. Pp. 183—205.

3. *Alliluev V. N.* Layout and arrangement of parking houses in development of underground space in unbuilt city areas // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 4. С. 218—225.

4. *Barkalov S. A., Kurochka P. N., Pinaeva M. A.* Model of formation plans for the urban areas development // IOP conference series: materials science and engineering. 2019. P. 62035.

5. *Kings L., Kravchenko Z.* Giving up on great plans? Transforming representations of space in city plans in Russia and Sweden // Laboratorium: журнал социальных исследований. 2013.№ 3. Pp. 43—65.

6. *Кудрявцев О. К.* Расселение и планировочная структура крупных городов-агломераций. М.: Стройиздат, 1985. 136 с.

7. *Narieswari L., Sitorus S. R. P., Hhardjomidjojo H., Putri E. I. K.* Multi-dimensions urban resilience index for sustainable city // IOP conference series: earth and environmental science. 2019. P. 012020.

8. *Chen Y., Huang Y., Luna-Reyes L. F., Li K.* Dimensions and measurement of city resilience in theory and in practice // Acm international conference proceeding series. 2019. Pp. 270—280.

9. *Мазаев Г. В.* О параметрах «идеальных» городов России с прямоугольной формой плана // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 3. С. 10—14.

10. *Птичникова Г. А.* Становление линейной планировочной структуры города: Царицын — Сталинград — Волгоград в XIX—XX веках // Архитектурное наследие. 2012. № 56. С. 315—330.

11. *Антюфеев А. В.* Формы пространственно-планировочной организации линейного города (градостроительная система «Большой Волгоград» // Социология города. 2020. № 3. С. 14—22.

12. *Гутнов А. Э.* Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.

13. *Трубецков Е. О.* Эволюционные изменения застройки городского центра и принципы их учета в практике реконструкции: дис. … канд. арх. М., 1985. 155 с.

14. *Мазаев Г. В.* Планировочная организация центров городов России XVIII — начала XIX веков // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 4. С. 11—15.

15. *Antyufeev A., Antyufeeva Ою, Ptichnikova G.* Urban transportation planning in the linear city // IOP conference series: materials science and engineering. 2020. С. 012059ю

16. *Васечкин Е. А., Антюфеев А. В.* Архитектурно-градостроительные особенности транспортно-пересадочных узлов в городах с линейной планировочной структурой // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 203—215.

17. *Толмачёва В. А., Антюфеева О. А.* Общественные центры в городах линейной планировочной структуры на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 177—186.

© Мазаев Г. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Мазаев Г. В. Линейные планировочные системы «идеальных» городов России XVIII — начала XIX в. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 195—203.

Об авторе:

Мазаев Григорий Васильевич — академик Российской академии архитектуры и строительных наук, канд. архит., проф., главный научный сотрудник, Институт УралНИИпроект (г. Екатеринбург) — филиал ЦНИИП Минстроя России. Российская Федерация, 620075, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 50а

Grigorii V. Mazaev

Institute UralNIIproekt (Yekaterinburg) — branch of TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia

LINEAR PLANNING SYSTEMS THE "IDEAL" CITIES OF RUSSIA OF THE XVIII — EARLY XIX CENTURY

The article considers the planning systems of "ideal" cities of Russia, the formation of plans of which was formed by the beginning of the XIX century. The features of the formation of the linear form of the city plan and the features of their planning systems resulting from the properties of the space in which the linear planning was carried out are shown. The paradoxes of linear planning systems are revealed: their fragmentation and weak connection with the river, for which they were created. The connection between the types of planning and the types of planning organization of the centers of linear cities is established.

K e y w o r d s: linear planning systems, principles of shaping, features of planning, types of urban centers.

For citation:

Mazaev G. V. [Linear planning systems the "ideal" cities of Russia of the XVIII — early XIX century]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 195—203.

About author:

Grigorii V. Mazaev — Candidate of Architecture, Professor, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Institute UralNIIproekt (Yekaterinburg) — branch of TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia. 50a, Lenina Ave., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation

УДК 712.25+711.5

С. А. Матовников, Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, И. А. Антипова

Волгоградский государственный технический университет

РЕНОВАЦИЯ ЗАБРОШЕННЫХ ОБЩЕГОРОДСКИХ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ПОМОЩЬЮ СТРОИТЕЛЬСТВА ПАРКОВ

В статье проанализированы современные тенденции реновации заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий города с помощью строительства на их территории парков, рассмотрена важность восстановления таких пространств, методы возвращения заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий города в категорию высокоэффективных городских рекреационных территорий на примере построенных парков. В ходе аналитического обзора концептуальных решений выявляются актуальные подходы в проектировании рекреационных пространств и парковых территорий, приемы обогащения функционального назначения парка, инновационного функционального зонирования территории, оснащения его новым парковым оборудованием. В результате проведенного анализа разработаны концептуальные предложения для реновации заброшенного парка на территории Нижнего Тракторного поселка Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: постиндустриальные территории, заброшенные общегородские территории, реновация территорий, рекреационное пространство, проектирование комфортной парковой среды.

Структура городского пространства — динамичная и постоянно развивающаяся система, по мере роста городов проектировщики решают массу градостроительных, архитектурно-планировочных, формотворческих и прочих задач преобразования городских территорий. Эта проблема актуальна сегодня, когда происходит как смена производственной парадигмы постиндустриального общества, так и более или менее успешное освоение заброшенных городских территорий. Современный город нужно рассматривать как экосистему, в которой должны быть созданы наиболее благоприятные условия для жизни. Особенное и важное место при этом должны занимать зеленые парковые территории. Открытые пространства, скверы, парки, зеленые зоны города не меньше, чем сами здания, формируют городскую среду. И именно в парках должна быть создана оптимальная по своим характеристикам комфортная городская среда. Городские парки, места отдыха и зеленые зоны являются важной частью общегородских территорий и играют значительную роль в жизни не только мегаполисов, но средних и малых городов. Городские парки — это рекреационные территории, где люди могут активно или пассивно проводить свободное время, релаксировать и общаться в безопасной обстановке, отдыхать от городской суеты, проводить свой досуг и наслаждаться природой. Кроме того, важно, что парковые городские территории способствуют улучшению качества воздуха и являются средой обитания и развития представителей природной флоры и фауны в городе. Таким образом, городские парки напрямую способствуют оздоровлению городского населения, повышению качества его жизни и создают комфортную среду для отдыха [1—6].

В настоящее время в городах появляется все больше новых парковых и озелененных территорий, но также под парки и зеленые зоны можно приспособить постиндустриальные территории бывших заводов и заброшенные об-

щегородские территории. Реновация таких территорий — немаловажная проблема современных городов не только в России, но и по всему миру, ведь в городах сегодня существует большая часть пустующей постиндустриальной и заброшенной территории. Исторически сложилось, что центральные части многих крупных городов включают промышленные территории. Очень часто промышленные территории размещались вдоль акватории, чтобы обслуживать предприятия водным транспортом. Сейчас территории с выходом к воде считаются наиболее ценными для города. Кроме того, зачастую происходит так, что не вся промышленная территория занята производствами, а лишь малая ее часть, а остальное пространство является санитарно-защитной зоной, что продиктовано устаревшими «грязными» технологиями. Таким образом, пустуют большие площади ценной городской территории, что тормозит развитие города в этом направлении, так как развитие останавливают накладываемые на эти свободные территории санитарные ограничения [7—10].

Сегодня производство переходит на другой технологический уровень, цеха устаревают, целые заводы прекращают работать, следовательно, ранее востребованная прилегающая территория тоже теряет свое прежнее значение. В черте города оказалось большое количество постиндустриальных территорий, которые полностью прекратили свою деятельность, что привело к появлению в городской среде депрессивных пространств, пустующих и нефункционирующих территорий, свалок и пустырей [8, 11]. Эти участки вполне могли бы получить новую жизнь. Сегодня реновация заброшенной общегородской территории является обязательным процессом в формировании комфортной городской среды, так как большие заброшенные территории — это одновременно и большой потенциал, но и большая опасность. Опасность таких пустующих территорий заключается в том, что природа не терпит пустоты, и на заброшенных участках зачастую возникают криминальные очаги, антисанитария, свалки и пр. Эти участки общегородской территории становятся отчужденными и не используются, следовательно, теряется драгоценный территориальный ресурс города. Что касается большого потенциала подобного рода территорий, то он заключается в том, что постиндустриальные территории являются ценным ресурсом в экономическом плане. Большие по площади пространства несут в себе потенциал для обустройства общественных рекреационных зон, улучшения качества городского пространства, так как уже находятся в черте городской застройки с развитой транспортной инфраструктурой, в непосредственной близости от социально-культурных и инженерно-технических объектов. Такое положение определяет их инвестиционную привлекательность, а также может содействовать необходимости их реновации для максимально эффективного использования и социально-экономического развития городов [4, 12, 13].

Среди эффективных инструментов обновления заброшенных территорий — создание комфортной парковой среды, которая делает заброшенные территории востребованными, способствует их экономической стабильности, развивая экономическую и культурную жизнь района и города в целом. Это новый подход к постиндустриальному наследию. Чтобы включить парковую среду в структуру города, надо создать в парке такие привлекательные условия среды, чтобы люди сначала пришли в это место, а потом вернулись сюда снова. Такие условия можно создать, используя приемы обогащения функ-

ционального назначения парка и инновационного функционального зонирования его территории, где могут быть размещены разнообразные площадки, спортивные или игровые, разных видов развивающие или обучающие тематические павильоны, сцены и амфитеатры, в которых проходят концерты и лекции, размещаются места сборов и встреч [4, 6, 14]. В качестве предпроектного анализа рассмотрим существующие примеры реновации заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий.

1. «Домино-парк» в Нью-Йорке (рис. 1, 2). «Домино-парк» построен на месте бывшего сахарного завода. Производство просуществовало, начиная с XIX в., около 150 лет и потом было заброшено на 60 лет. Концепция этого парка — расширить парковую зону вдоль реки и соединить парк с городом, сделать это место общедоступным, а не приватным парком для домов, которыми застраивается берег в данный момент. К тому же из-за того, что парк находится на берегу, он работает как первая линия защиты района от ураганов, сильного ветра и бурь. Также парк находится на склоне и плавно соединяет возвышенные участки берега с низинными, поэтому там нет лестниц, а территория комфортна и доступна для всех горожан. Идея «Домино-парка» также состоит в том, чтобы максимально использовать существующую подоснову. Таким образом, рельеф берега остался прежним, а смотровая площадка, удобная для посещения, расположена на металлической конструкции стены бывшего склада.

Многие конструкции бывшего завода остались и используются как материалы для новых объектов и предметного наполнения данной среды. Например, в парке расположены объекты промышленного периода того времени — железные трубы, конвейеры, рельсы, клепаные баки для хранения сиропа, краны, колонны склада. Также в дизайне паркового оборудования использовано дерево, из которого были сделаны стены, металл от клапанов и колес. «Домино-парк» — один из удачных примеров реновации постиндустриальной территории в качестве парка и общественной зоны. У территории есть история и концепция, что послужило отличной основой для создания тематического парка[1].

Рис. 1. Сохраненный объект завода

Рис. 2. Здание завода как выставочный зал

2. Парк на месте старой верфи в китайском городе Чжуншань (рис. 3). Парк построен на месте старой верфи. Его еще называют «китайское постиндустриальное чудо». Опыт строительства этого парка полезен для городов, в

[1]Сахарный парк. URL: https://archi.ru/world/80828/sakharnyi-park.

которых также существуют заброшенные промышленные территории. Данный парк — прекрасный образец постиндустриального использования территории, продуманного использования заброшенных инженерных сооружений.

Рис. 3. Преобразование заброшенных инженерных сооружений бывшей верфи

В парке существовало две проблемы, одной из которых являлся высокий уровень воды. Эту проблему решили, построив мосты на разных высотах и подобрав растения, для которых не будет губительно периодическое затопление территории. Вторая задача заключалась в сохранении культурного наследия в виде заржавевших и нефункционирующих обломков старого инженерного оборудования, таких как водонапорные башни, доки и прочее техническое оборудование. Однако если бы их оставили нетронутыми, то это доставило бы ряд неудобств посетителям. Было принято решение использовать старые конструкции в ландшафтном дизайне путем реконструкции и преобразования, перекрасив их в яркие цвета, создать новые формы паркового оборудования, в которых старые инженерные конструкции получили бы новое назначение и стали арт-объектами на территории парка.

3. Ландшафтный парк «Дуйсбург-Норд» (рис. 4), который все называют самым опасным парком в Германии, построен на месте заброшенного металлургического завода. Изначально предлагалось снести все заводские здания и обустроить территорию с нуля, но архитектор Питер Ланц сохранил существующую промышленную застройку и превратил заброшенный завод в своеобразный аттракцион. Все здания и постройки внешне остались прежними, только их приспособили под отдых и прогулки. Также была проведена высадка деревьев и растений на территории парка. Из пяти доменных печей, которые работали на заводе, сохранилось три. Одну из печей, благодаря ее высокой лестнице, превратили в смотровую площадку. Большую электростанцию превратили в зал для торжеств. Из хозяйственного помещения поблизости сделали арт-пространство, где современные художники устраивают выставки, а режиссеры проводят премьерные показы. Газометр превратили в дайвинг-центр, где любые желающие могут нырнуть на глубину 13 м и увидеть различные подводные сюжеты. Хранилище газа превратили в большой бассейн. Практически ничего не осталось нетронутым, даже рельсы превра-

тили в пешеходные дорожки. Из различных построек завода сделаны кинотеатры, лекционные залы, а из хранилища для дождевальных печей — скалодром. Вечером парк красиво подсвечен[2].

Рис. 4. Ландшафтный парк «Дуйсбург-Норд»

4. Парк «Хай Лайн» в Нью-Йорке (рис. 5). Один из замечательных урбанистических парков мира «Хай Лайн» — микс постиндустриального прошлого, современной архитектуры и ландшафтного дизайна. Это бывшая железная дорога-эстакада, ставшая прогулочной зоной и хорошим местом отдыха. Раньше железная дорога проходила через склады и промышленный район, но со временем склады и промышленность перестали функционировать, а вместе с ними и железная дорога потеряла свое значение. Она оказалась заброшенной и невостребованной, а среди офисных зданий вовсе выглядела нелепо. К тому же сама эстакада стала скоплением асоциальных элементов общества. Было принято решение создать протяженный прогулочный парк.

Парк устроен на месте старых путей и полностью повторяет их маршрут. Растениям предоставлена полная свобода, таким образом архитекторы сохранили сформировавшуюся флору, которая возникла за то время, пока железная дорога была закрыта. Рельсы также решили оставить и сделали их частью оформления парка. Сейчас парк «Хай Лайн» — излюбленное место жителей Нью-Йорка, реанимированное заброшенное пространство, получившее новую жизнь и функцию[3].

[2]Дуйсбург-Норд. URL: https://parkseason.ru/articles/luchshiye-parki-mira-duysburg-nord-v-vestfalii/

[3]Хай Лайн парк. URL: https://varlamov.ru/1206229.html.

Рис. 5. Парк «Хай Лайн» — излюбленное место жителей Нью-Йорка

5. «Фрешкиллс-парк» в Нью-Йорке (рис. 6). Долгое время жители Стэйтен-Айленда жили с мыслью, что остальная часть города сбрасывает на них мусор и отходы, потому был запущен проект по восстановлению данной территории. Проект пока находится на стадии реализации, так как горы мусора занимали очень большую территорию, и разбор завалов и переработка могут затянуться на десятки лет. Но некоторая часть завалов уже разобрана и приспособлена под парк с разными зонами, полями и площадками. Мусор, который находился на этой территории, не просто отвозится в очередное заброшенное место, а перерабатывается на месте. Таким образом парк планирует зарабатывать и вкладываться в собственное развитие.

Рис. 6. «Фрешкиллс-парк» на территории бывшей городской свалки

6. Лондон, Великобритания, парк «Барьер Темзы» (рис. 7). Он расположен не в самом подходящем месте для зеленых массивов — в районе Сильвертаун с большим сосредоточение нефтебаз, производства резины и химических заводов. Однако парк является гордостью Англии, потому что на столь загубленной территории получилось воплотить настоящее чудо света. Место, где сейчас расположен парк, ранее занимала компания по производству шпал и телеграфных столбов, материал которых пропитывался химическими веществами, которые попадали в землю, из-за чего среда оказалась абсолютно безжизненной. Но потом «грязные» производства перестали работать, и началось строительство «Барьера Темзы» — сооружений против наводнений на реке. Также было принято решение о реновации территории и организации на этом месте парка[4].

[4] Барьер Темзы. URL: https://redeveloper.ru/redeveloperskie-proekty/realise_actual/thames-barrier-park-london-velikobritaniya/

Рис. 7. Парк «Барьер Темзы»

7. Парк на месте свалки в городе Тяньцзине (рис. 8). В Китае из-за промышленного бума особо остро стоит вопрос облагораживания загрязненных и промышленных территорий. Примером того, как решилась такая проблема, является парк в Тяньцзине. На окраине города образовалась большая свалка в 23 га. Однако проблема встала особо остро, когда свалка подошла вплотную к жилым домам, вырос уровень криминала, жители стали жаловаться на сложившуюся ситуацию, и правительство наконец-то прислушалось — началось строительство парка. Главной проблемой стала сама территория парка. Сложный рельеф с испорченной почвой — не самый лучший вариант для строительства парка. Было принято решение устроить парк с привычной региональной флорой, неприхотливыми и выносливыми растениями. Таким образом гектары загрязненной и просоленной земли превратились в прекрасный многоярусный парк[5].

Рис. 8. Парк на месте свалки в городе Тяньцзине

Приведенные примеры реновации и создания зеленых парковых зон на бывших промышленных и заброшенных общегородских территориях свидетельствуют о необходимости изменения этих фрагментов городской среды с целью наиболее эффективного использования территориальных резервов города для повышения его экологической устойчивости и улучшения условий жизни населения. Реновационные проекты с целью повторного использования заброшенных и постиндустриальных территории и преобразования их в городские парки поначалу могут привести к некоторым экономическим потерям, но при бездействии город и население потеряют намного больше.

[5] Парк в Тяньзяне. URL: http://t-fakt.ru/5-krasiveyshih-parkov-na-meste-uzhasnyih-svalok.

Особенно остро тема реновации заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий стоит в Волгограде — городе с большим количеством неосвоенных городских земель. В результате проведенного исследования были разработаны концептуальные предложения о возможности эффективного использования и реновации заброшенного парка на территории Нижнего Тракторного поселка (рис. 9). Рядом с парком существует развитая инфраструктура. Это городские объекты, транспортные магистрали, электросети, больница. Также рядом находятся разного рода учреждения, такие как Волгоградский кадетский корпус Следственного комитета, лицей, школа, детский сад, а в самом парке находится Дворец культуры и техники Тракторазаводского района. Сам парк находится от проезжей части на расстоянии 0,5—1 км, примерно 25 мин пешком, имеет выход к Волге, на набережную. Профиль парка — с небольшим уклоном, а заканчивается парк крутым склоном. Перепад высот по профилю составляет 10 м. Склон также имеет 10 м в высоту. Однако местами склон размыт и существуют провалы, так как берегоукрепление не проводилось уже 20 лет. Из-за этого парк в некоторых местах стал небезопасным для посещения. Площадь парка составляет 17,16 га. Также на территории парка имеется братская могила советских воинов, погибших в период Сталинградской битвы. Жители района уделяют этому месту особое внимание.

Рис. 9. Исходный генплан территории парка

Парк находится в заброшенном состоянии, на его территории есть большое количество пустырей, деревья неухоженные, много сухих и старых, которые требуют спила или частичной обрезки. Полив отсутствует, так как от водоснабжения парк давно отрезан. Дорожек и мощеной дорожно-тропиночной сети нет, в парке стоят разрушенные лавочки и ограждения, от питьевых фонтанчиков остались одни постаменты. Парадная лестница, ведущая из парка прямо к реке, разрушается и все глубже проваливается в овраг. Единственная ухоженная часть находится рядом с Дворцом культуры. На этом месте жители сами ухаживают за территорией. Иногда местные активи-

сты выходят в парк и своими силами собирают мусор по всей территории. В настоящее время парк используется в основном местными жителями.

Проанализировав исходный объект и его состояние, можно сделать вывод, что парк нуждается в восстановлении и хорошо подходит для реализации идеи реновации. Так как рядом находится большое количество объектов жилого фонда, население будет активным пользователем парка. К тому же сам район постепенно пустеет, происходит отток населения. Следовательно, нужно создать место, привлекательное для жителей, давая таким образом новую жизнь району и парку.

Исходя из предложенной концепции создания многофункционального парка (рис. 10) парк делится на несколько крупных зон:

1. Озелененная зона — простирается по проекту по всей длине парка. Эта зона должна быть застелена газонным покрытием, на котором можно расположиться и спокойно отдохнуть, также необходимо высадить большое количество новых деревьев и кустарников.

2. Зоны развлечений — это детские игровые зоны, зоны аттракционов с колесом обозрения, концертной сценой. Эти зоны в основном будут находиться в центральной части парк и составлять его главную часть.

3. Спортивно-массовая зона будет находиться с левой стороны парка, она состоит из спортплощадки с баскетбольными кольцами и футбольным полем, зоны воркаута с турниками, скейт-площадки, фристайл-зоны с прокатом велосипедов, роликов и пр.

4. Зоны променада — это прогулочные зоны, их можно разделить на две части — верхнюю и нижнюю: верхняя зона променада — это две пересекающиеся широкие аллеи, одна из которых перекрыта широкими перголами, а другая проходит через аллею светящихся деревьев, где ночью можно наблюдать прекрасные виды. Нижняя зона променада — внизу, у набережной. Это большая зигзагообразная дорожка, где есть выход к воде и спуск к береговому кафе, пляжу и бассейну.

5. Развивающе-образовательные зоны по проекту находятся на правой стороне парка, рядом с Домом культуры. Туда входят клубные зоны, технопощадки с роботами, световой лабиринт, букинистическая зона, площадка для прыжков.

Рис. 10. Схема зонирования многофункционального парка

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что процесс реновации постиндустриальных и заброшенных общегородских территорий, в результате которого они преобразуются в городские парки, актуален для многих городов мира, в том числе и России. Оставляя подобные территории вблизи городского центра, мы лишаем город возможности устойчивого развития, а его жителей — комфортного проживания и удобного использования городской среды. Мы живем во времена второй технической революции, когда происходит активная смена строительных технологий, способов промышленного производства и утилизации отходов, что позволяет по-новому взглянуть на процесс реновации заброшенных территорий. Современная промышленная архитектура приспосабливается к стремительно развивающимся технологиям, что достигается реконструкцией неэффективных промышленных объектов или заменой их функционального назначения. Одновременно идет активный процесс реновации освободившихся городских территорий, приспособления их под новые парки и рекреационные зоны, при котором различные архитектурно-планировочные приемы позволяют адаптировать и гармонизировать эти пространства, эффективно вписывать их к структуру развивающегося города.

В заключение можно сказать, что реновационные проекты с целью повторного использования заброшенных и постиндустриальных территорий и преобразования их в городские парки поначалу могут привести к некоторым экономическим потерям, но при бездействии город и население потеряют намного больше. Приведенные примеры реновации и восстановления зеленых парковых зон на бывших промышленных и заброшенных общегородских территориях свидетельствуют о необходимости изменения этих фрагментов городской среды с целью наиболее эффективного использования территориальных резервов города для повышения его экологической устойчивости и улучшения условий жизни населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Овсянникова М. И.* Дизайн комфортного досуга — новое направление научного дизайна // Студенческий научный форум — 2018. URL: https://scienceforum.ru/2018/article/2018004782.

2. *Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Барканова А. В.* Объемно-планировочное решение благоустройства Ельшанской набережной в Советском районе Волгограда // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3. № 10(51). С. 77—78.

3. *Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Чернышева А. А*. Благоустройство городского пляжа на левом берегу реки Волга в районе хутора Бобры // Пути повышения результативности современных научных исследований: сб. ст. Международной науч.-практич. конф. 2019. С. 151—158.

4. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г*. Проектирование современного парка как инновационного средового объекта // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАрхИ: тезисы докладов международной науч.-практич. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 2018. С. 391—393.

5. *Matovnikov S. A., Matovnikova N. G.* Innovative urban planning methods for the urban landscape design in the Volgograd agglomeration // Procedia Engineering. Vol. 2. 2nd International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2016. Pp. 1966—1971.

6. *Loukaitou-Sideris A.* Urban FORM and social context: cultural differentiation in the use of urban parks // Journal of Planning Education and Research. 1995. Vol. 14. Iss 2. Pp. 89—102.

7. *Гришечкина И. Е., Исакова Е. В.* Проблемы преобразования промышленных территорий, находящихся в зонах с особыми условиями использования. URL: https://pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2019/79-85.pdf.

8. *Матовникова Н. Г.* Биогеографические основы озеленения рекреационных территорий Волгоградской агломерации: автор. дис. … канд. геогр. наук. Волгоград, 2007.

9. *Anopin V. N., Matovnikov S. A., Matovnikova N. G.* The features of the establishment and maintenance of parkland in the solution of the problems of urban agglomerations in Volgograd // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1972—1977.

10. *Kovalyova G. N.* Condition of recreational spaces in Volgograd at the present stage and their influence on socio-cultural life of the city // Internet-Vestnik VolgGASU. 2010. № 3(13). С. 11.

11. *Цитман Т. О., Богатырева А. В.* Реновация промышленной территории в структуре городской среды. URL: https://aracy.pф/journal/files/documents/44-redaktor/isvp_4_14/isvp_2015_4_29-35.pdf.

12. *Демидова Е. В.* Проблема реабилитации городских пространств // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2.

13. *Kaplan R.* Citizen participation in the desing and evaluation of a park // Environment and Behavior. 1980. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 494—507.

14. *Richard C.* Surveying small urban spaces // Structural Survey. 1996. Vol. 14. Iss 4. Pp. 10—20.

© Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Антипова И. А., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Реновация заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий с помощью строительства парков / С. А. Матовников, Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, И. А. Антипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 204—215.

Об авторах:

Матовников Сергей Алексеевич — канд. архит., профессор, зав. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikov4@yandex.ru

Матовникова Наталья Геннадьевна — канд. географ. наук, доц., доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikova@yandex.ru

Самойленко Полина Васильевна — старший преподаватель каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; palasam@yandex.ru

Антипова Ирина Александровна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; irina.antipova@gmail.com

Sergei A. Matovnikov, Natal'ya G. Matovnikova, Polina V. Samoiylenko, Irina A. Antipova

Volgograd State Technical University

RENOVATION OF ABANDONED CITYWIDE AND POST-INDUSTRIAL TERRITORIES THROUGH THE CONSTRUCTION OF PARKS

This article analyzes the current trends in the renovation of abandoned city-wide site and post-industrial areas of the city on the example of parks, identifies the basic principles of the formation of these spaces, and also considers some examples of such spaces. In the course of an analytical review of conceptual solutions, relevant approaches in the design of recreational spaces and park areas are identified, and methods for returning abandoned citywide and post-industrial areas of the city to the category of highly efficient urban areas. In the course of an analytical review of conceptual solutions, relevant approaches in the design of recreational spaces and park areas, methods of enriching the functional purpose of the park, innovative functional zoning of the territory, equipping it with new park equipment are identified. As a result of the analysis, conceptual proposals for the renovation of an abandoned park on the territory of the Lower Tractor village of Volgograd were developed.

K e y w o r d s: post-industrial areas, abandoned city-wide site, territory renovation, recreational space, designing a comfortable park environment.

For citation:

Matovnikov S. A., Matovnikova N. G., Samoiylenko P. V., Antipova I. A. [Renovation of abandoned citywide and post-industrial territories through the construction of parks]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 204—215.

About authors:

Sergei A. Matovnikov — Candidate of Architecture, Prof., Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikov4@yandex.ru

Natal'ya G. Matovnikova — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

Polina V. Samoiylenko — Senior Lecturer of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; palasam@yandex.ru

Irina A. Antipova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; irina.antipova@gmail.com

УДК 72:796.5(470.45)

С. В. Семенцов[а], А. Д. Крючихина[б], Г. В. Безугомоннов[б], И. В. Шевчук[б], И. И. Соколов[б]

[а] Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Волгоградский государственный технический университет

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИРОДНОГО ПАРКА «НИЖНЕХОПЕРСКИЙ»

Анализируется архитектурно-ландшафтная среда рекреационной территории природного парка «Нижнехоперский». Выделены основные виды туризма с учетом специфики природно-климатических условий территории. Предложены параметры, которые позволят улучшить экологическую обстановку в природном парке.

К л ю ч е в ы е с л о в а: рекреационная территория, туризм, экологический потенциал, природный парк.

Современный туризм является не только одним из важнейших секторов мировой экономики, но и одним из наиболее быстро развивающихся видов экономической деятельности. В формировании и развитии туристско-рекреационного комплекса особое значение имеют природные парки, в задачи которых входит не только сохранение уникальной природной среды, но и создание условий для отдыха населения [1]. Возможность организации туристских систем и их элементов, а также привлекательность территории для потоков туристов зависят от туристического и рекреационного потенциала территории [2].

Природные парки — это одна из современных форм охраны природы и организации отдыха населения [3]. Поэтому наряду с существующими и проектируемыми заповедниками и природными зонами отдыха предусматривается образование ряда природных заповедно-туристических зон в виде природных парков, что является актуальным на сегодняшний день.

Основная цель природного парка — комплексное и рациональное использование природных ресурсов с сохранением природных комплексов и объектов, имеющих значительную экологическую, эстетическую ценность при развитии устойчивого экологического туризма в регионе [4, 5].

Предмет исследования — система комплексной оценки природного парка «Нижнехоперский» с целью сохранения целостности природно-исторической среды при развитии туристического потенциала Волгоградской области.

Рамки исследования ограничиваются территориальными, планировочными и функциональными аспектами.

Методом экспертной оценки произведено оценивание туристского потенциала территории природного парка «Нижнехоперский».

В качестве оцениваемых показателей туристского потенциала выбраны следующие позиции: климатические условия территории, географические условия территории, наличие водных акваторий, наличие лечебных грязей и минеральных источников, экологическое состояние территории, виды экотуризма, ценность и уникальность природных (рекреационных, антропогенно-

рекреационных) объектов, количество достопримечательностей на территории, известность на туристском рынке, транспортная доступность [6].

В работе использованы материалы историко-культурных планов, проектов охранных зон, планы размещения объектов культурного наследия и памятников природы Волгоградской области.

Практическое значение состоит в развитии систем оценки, контроля и регулирования процессов сохранения и разумного преобразования природно-исторической среды городов и регионов в соответствии с нуждами и потребностями современного человека [7].

Природный парк «Нижнехоперский» расположен в западной части Волгоградской области на территории трех административных районов: Кумылженского, Алексеевского и Нехаевского. Площадь парка составляет 231 тыс. га.

Для парка «Нижнехоперский» характерны резко континентальный климат, высокая температура воздуха, низкая относительная влажность и почти постоянные ветровые нагрузки (табл. 1). Все эти негативные факторы приводят к быстрому высыханию и выветриванию небольшого плодородного поверхностного слоя почвы [8, 9].

Таблица 1

Климат природного парка «Нижнехоперский»

Среднегодовая температура, °С	+6,5
Абсолютная минимальная температура, °С	–25,0
Абсолютная максимальная температура, °С	+43,0
Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца, °С	+36,0
Влажность относительная, %	69
Скорость ветра, м/с	4,2
Продолжительность солнечного сияния, ч	2550
Периодичность проявления опасных климатических явлений (суховеи)	средняя
Среднемесячная температура июля, °С	+32,0
Среднемесячная температура января, °С	–9,5
Годовое количество осадков в теплый период, мм	250
Годовое количество осадков в холодный период, мм	150

Для смягчения воздействия существующих климатических условий населению необходимо увеличивать площади городских рекреационных территорий, реконструировать и увеличивать ассортимент древесно-кустарниковой растительности, проводить природоохранные мероприятия по оздоровлению экологической обстановки городов [10].

Территория парка расположена в уникальном месте, в котором системообразующую роль играет река Хопер. Она является формообразующим фактором рельефа местности. Парк можно разделить на две части: правобережную, расположенную на юго-восточной оконечности Калачской возвышенности и левобережную, расположенную на Хоперско-Бузулукской равнине (рис. 1). Территория парка отличается большой густотой речной сети, высоким пиком половодья в апреле и низкой летней меженью. Питаются реки на 90 % осадками в виде дождей и талых вод. Из-за неравномерного стока в летний период реки питаются за счет грунтовых вод и вследствие недостаточного их поступления сильно мелеют [11, 12].

Рис. 1. Ландшафтная схема парка «Нижнехоперский». Условные обозначения: — степные ландшафтные районы: *1* — Восточно-Калачский возвышенный плоско-выпуклый сильно расчлененный овражно-балочной сетью; *2* — Хоперско-Бузулукский низменный аккумулятивный плоско-равнинный; — ландшафтные районы речных долин: *3* — Прихоперский террасовый аллювиально-флювиогляциальный песчаный; *4* — Медведицко-Терсинский пойменный плоскоравнинный лесо-луговой; *5* — Бузулукский пойменный плоскоравнинный луговой

Важную роль играет естественность гидрологического режима реки Хопер и ее притоков. В результате уровень воды в ней в пик паводка, как правило, превышает уровень в межень на 4…5 м со всеми позитивными экологическими последствиями. Например, относительно небольшая антропогенная нагрузка на экосистему реки Хопер. В ее бассейне отсутствуют крупные водозаборы и загрязнители. Способствует этому и сохраненная местным населением традиционная культура земледелия и природопользования в целом [13].

Территория Нижнехоперского парка приурочена к степной природной зоне. Почвы представлены черноземами южными, на склонах часто смытыми, иногда в комплексе с солонцами, по долинам рек сформировались аллювиальные почвы (табл. 2).

Почвообразующие породы — четвертичные, делювиальные глины, суглинки, пески. Коренные породы — аллювиальные и флювиогляциальные пески, мел, мергели, опока, реже песчаники, аргелиты [14].

Таблица 2

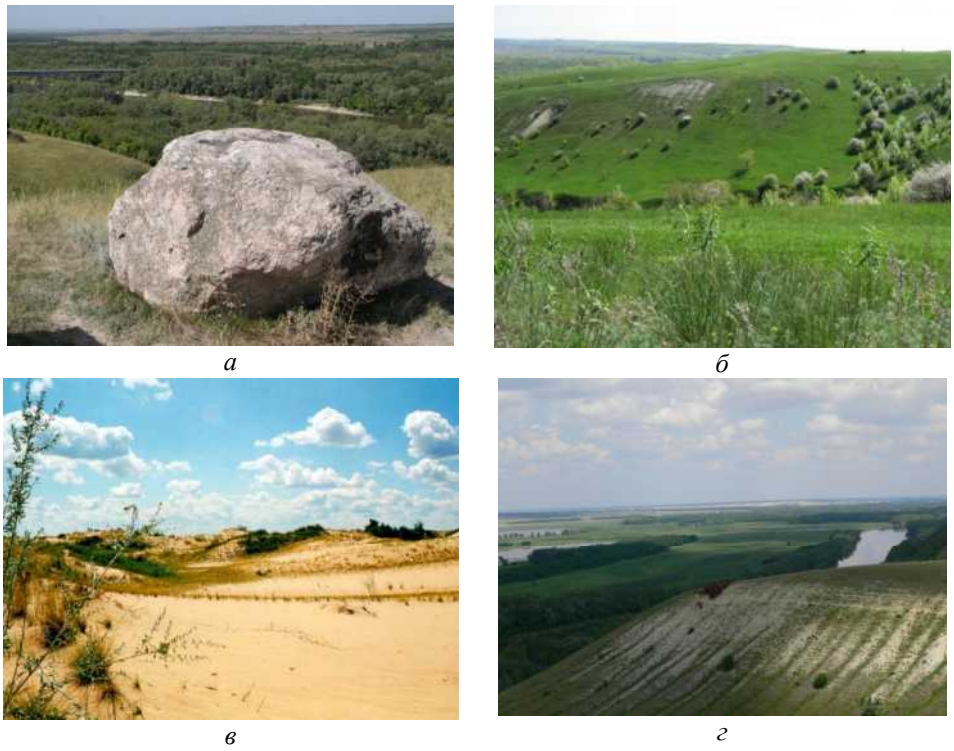
Почвенный покров территории Нижнехоперского природного парка

Тип почв	%
Черноземы обыкновенные	30
Южные черноземы	28
Солонцы черноземные	14
Аллювиальные дерновые	10
Солонцы луговые	8

Главные ценности парка — огромные массивы пойменных лесов и лугов в долине Хопра, просторы разнотравно-ковыльных степей, многочисленные байрачные леса и самая южная в области нагорная дубрава с дубами 200—700-летнего возраста, кумылженские пески с их уникальными растительными

сообществами, покрытые культурами сосны и березовыми колками в межбарханных понижениях[1] [15—17].

Для сохранения и защиты богатейшего разнообразия природного парка «Нижнехоперский» организованы особо охраняемые природные территории (ООПТ) [15]. Это озера Строкальное, Култук, Бабинское, Ларинское, Ольховский Ерек и родники Капошный, Явленный, Аржановский, а так же Шакинская дубрава, Ледниковые валуны (рис. 2, *а*) и Остроуховские луга (рис. 2, *б*), урочище Малые Фомины, Остров, Сосновый бор, Филиппова балка, песчаный массив «Кумылга» (рис. 2, *в*) и Кошав-гора (рис. 2, *г*).



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Особо охраняемые природные территории на базе природного парка «Нижнехаперский»: *а* — Ледниковые валуны; *б* — Остроуховские луга; *в* — песчаный массив «Кумылга»; *г* — Кошав-гора

С учетом всех этих особенностей территории природного парка разработаны эколого-туристические маршруты, позволяющие ознакомиться с памятниками природного и культурно-исторического наследия, с фольклорно-

[1] Красная книга Волгоградской области. URL: https://oblkompriroda.volgograd.ru/other/redbook/redbook/index.php-art=02-02.txt.htm.

Природный парк Нижнехоперский // Экология — электронный путеводитель. URL: http://lib.volsu.ru/eco/index.php?option=com_content&view=article&id=50:nizhnehopersk ij&catid=14:2011-09-15-07-58-59&Itemid=18.

Приказ комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области от 17.01.2020 № 147-ОД «Об утверждении Реестра туристических маршрутов, действующих на территории природных парков Волгоградской области».

этнографическими традициями Нижнехоперского региона, вести эколого-просветительскую и природоохранную работу, экологический мониторинг состояния природной среды, развивать научно-познавательный туризм [16].

На сегодняшний день разработано шесть основных туристических маршрутов, в число которых входят автомобильные и пешие прогулки, водный сплав на байдарках от ст. Слащевская до ст. Букановская [17].

Таким образом, на территории природного парка «Нижнехоперский» возможно развитие следующих видов туризма, которые классифицируются по виду использования природных ресурсов.

1. Группа видов научного туризма. Объединяет в себе виды биологического, палеонтологического, археологического, спелеологического научного туризма, для развития которых существуют необходимые природные и социально-культурные предпосылки.

2. Лицензированная рыбалка и охота. Развиваются на основе богатого биоресурсного потенциала исследуемой территории.

3. Лечебный туризм, который представлен бальнеологическим курортным туризмом.

4. Экологический туризм. Для этого вида туризма характерно не только познание природы туристами, но и внесение ими вклада в сохранение экосистем исследуемой территории.

5. Познавательный туризм — посещение туристами природных и историко-культурных достопримечательностей на территории природного парка «Нижнехоперский».

6. Купально-пляжный туризм, предполагающий отдых на песчаных пляжах.

7. Группа видов водного туризма. Включает в себя теплоходные маршруты и экскурсии на судах на воздушной подушке, греблю и туризм на маломерных судах, парусный и водно-моторный спорт, катание на водных лыжах;

8. Группа видов спортивного туризма. Создание возможности для развития велотуризма и автотуризма.

9. Приключенческий туризм. Вид туризма, связанный с определенными физическими нагрузками, а иногда и с опасностью для жизни. На исследуемой территории это — походы, сплавы по рекам на плотах, подводные погружения и так далее [18].

Следует отметить, что успешность рекреационной деятельности природных объектов во многом зависит от усовершенствования контроля над состоянием природной среды. Рекреационные территории должны быть защищены от загрязнения их различными предприятиями и отдыхающими [19].

Выводы

В ходе исследовательской работы выделены природные ресурсы и раскрыт ландшафтно-рекреационный потенциал территории природного парка «Нижнехоперский».

Выявлено, что природный парк нуждается в охране его естественных ландшафтов и проведении комплексных мероприятий по восстановлению водных и растительных ландшафтов.

Определены виды туристической деятельности, возможные в пределах исследуемой территории природного парка.

Природный парк «Нижнехоперский» обладает значительным туристско-рекреационным потенциалом, обусловливающим возможности для развития туризма на его основе, обеспечение устойчивых потоков туристов как из регионов Российской Федерации, так и из-за рубежа.

Проведенный анализ и оценка туристического и рекреационного потенциала территории позволяет сформировать зоны для приоритетного развития определенного направления экотуризма на территории парка, а также выделить зоны, обладающие ресурсами для наибольшего количества направлений экотуризма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С.* Потенциальные возможности формирования туристического комплекса в городе Латакия Сирийской Арабской Республики // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 160—167.

2. *Бахтояров В. Г., Сидоренко В. Ф.* Рекреационный потенциал территории как фактор экологической безопасности урбанизированной территории в Нижневолжском регионе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 26(45). С. 165—167.

3. Tourism and nature conservation: A case study in Golestan National Park / S. Ghoddousi, P. Pintassilgo, J. Mendes, A. Ghoddousi, B. Sequeira // Iran, Tourism Management Perspectives. 2018. Vol. 26. Pp. 20—27.

4. *Sever I., Verbič M.* Assessing recreational values of a peri-urban nature park by synthesizing perceptions and preferences of trail users // Journal of Environmental Psychology. 2019. Vol. 63. Pp. 101—108.

5. *Колышева Т. Б.* Знакомство старших дошкольников с историей города Волгограда посредством проектной деятельности // Педология. URL: https://pedologiya.ru/servisy/publik/publ?id=104.

6. *Колышев Ю. Б., Колышева Г. В.* Решение проблем взаимосвязи довузовского и вузовского этапов обучения архитектурному рисунку // Новые идеи нового века — 2015 : материалы XV Международной научной конференции: в 3 т. Хабаровск, 2015. Т. 2. С. 382—385.

7. *Колышев Ю. Б.* Рисунок архитектурных форм и пространств. Волгоград, 1997. 109 с.

8. *Sever I., Verbič M.* Providing information to respondents in complex choice studies: A survey on recreational trail preferences in an urban nature park // Landscape and Urban Planning. 2018. Vol. 169. Pp. 160—177.

9. Систематизация памятников природы Волгоградской области / О. Р. Катаева, С. А. Болгов, И. И. Соколов, Е. И. Мельникова и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 139—152.

10. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / В. Ф. Сидоренко, И. И. Соколов, Е. И. Мельникова, А. И. Соколов и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 219—225.

11. Природный парк «Нижнехоперский». URL: http://www.gid34.ru/catalog/reserves/prirodnyy-park-nizhnekhoperskiy/?sphrase_id=164834.

12. *Novikau A.* The evolution of the natural protected areas system in Belarus: From communism to authoritarianism // Global Ecology and Conservation. 2021. Vol. 26. DOI: 10.1080/23251042.2014.1002187

13. *Canteiro M., Córdova-Tapia F., Brazeiro A.* Tourism impact assessment: A tool to evaluate the environmental impacts of touristic activities in Natural Protected Areas // Tourism Management Perspectives. 2018. Vol. 28.

14. *Boyle S. A.* Protected Areas and Anthromes / Editor(s): M. I. Goldstein, D. A. Della Sala // Encyclopedia of the World's Biomes, Elsevier, 2020. Pp. 146—157.

15. Оценка рекреационного потенциала Волгоградской области / И. И. Соколов, Г. В. Павлов, А. И. Соколов, Е. И. Горюнова и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 343—349.

16. Human transformation of ecosystems: Comparing protected and unprotected areas with natural baselines / D. Vačkář, Z. V. Harmáčková, H. Kaňková, K. Stupková // Ecological Indicators. 2016. Vol. 66. Pp. 321—328.

17. Возможности рекреационной деятельности на территории Волгоградской области / И. И. Соколов, Д. Р. Муслимова, А. И. Соколов, Е. И. Горюнова и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 264—267.

18. Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi-temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area / S. López, M. F. López-Sandoval, A. Gerique, J. Salazar // Ecological Indicators. 2020. Vol. 115.

19. *Holmes G.* Defining the forest, defending the forest: Political ecology, territoriality, and resistance to a protected area in the Dominican Republic // Geoforum. 2014. Vol. 53. Pp. 1—10.

© Семенцов С. В., Крючихина А. Д., Безугомоннов Г. В., Шевчук И. В., Соколов И. И., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка рекреационного потенциала природного парка «Нижнехоперский» / С. В. Семенцов, А. Д. Крючихина, Г. В. Безугомоннов, И. В. Шевчук, И. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 216—223.

Об авторах:

Семенцов Сергей Владимирович — д-р архит., проф. каф. архитектурного и градостроительного наследия, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4

Крючихина Ангелина Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kryuchikhinalina1998@gmail.com

Безугомоннов Геннадий Викторович — доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; bezugomonnov@mail.ru

Шевчук Ирина Вячеславовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; shevchuck@yandex.ru

Соколов Иван Иванович — канд. архит, проф., доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sokolovii@mail.ru

Sergei V. Sementsov[a], Angelina D. Kryuchikhina[b], Gennady V. Bezugomonnov[b], Irina V. Shevchuk[b], Ivan I. Sokolov[b]

[a] Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

[b] Volgograd State Technical University

ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL POTENTIAL OF THE NATURAL PARK “NIZHNEKHOPERSKY”

The architectural and landscape environment of the recreational territory of the natural park “Nizhnekhopersky” is analyzed. The main types of tourism are highlighted, taking into account the specifics of the natural and climatic conditions of the territory. The parameters are proposed that will improve the ecological situation in the natural park.

K e y w o r d s: recreational area, tourism, ecological potential, natural park.

For citation:

Sementsov S. V., Kryuchikhina A. D., Bezugomonnov G. V., Shevchuk I. V., Sokolov I. I. [Assessment of the recreational potential of the natural park "Nizhnekhopersky"]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 216—223.

About authors:

Sergei V. Sementsov — Doctor of Architecture, Professor of Architecture and Town Planning Heritage Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE). 4, 2-ya Krasnoarmeiskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

Angelina D. Kryuchikhina — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kryuchikhinalina1998@gmail.com

Gennady V. Bezugomonnov — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; bezugomonnov@mail.ru

Irina V. Shevchuk — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; shevchuck@yandex.ru

Ivan I. Sokolov — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sokolovii@mail.ru

УДК 699.86

С. В. Корниенко

Волгоградский государственный технический университет

РЕГУЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКНАМИ

Здания подвергаются различным климатическим воздействиям. Окна являются неотъемлемой частью оболочки здания. Они необходимы для естественного освещения помещений, для защиты помещений от шума, создаваемого внешними источниками, а также для обеспечения теплозащитных, воздухоизоляционных и влагозащитных требований. Определены границы регулирования климатических воздействий современными оконными конструкциями. Показано, что регулирование климатических воздействий окнами является необходимым условием, позволяющим системно решить актуальную проблему создания комфортной, экологически безопасной, энергоэффективной среды обитания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: климат, климатические воздействия, умное окно, здоровое здание, комфортность, энергоэффективность, энергосбережение.

Введение

В настоящее время качество микроклимата в помещениях зданий уверенно выходит на первый план по сравнению с вопросами энергосбережения. Здание, в котором приоритетность при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды, построенное с применением экологически чистых строительных материалов, называют здоровым [1]. Потребность в строительстве таких зданий высока и определяется необходимостью создания комфортной, экологически безопасной, энергоэффективной среды обитания (рис. 1).

Рис. 1. Ключевые аспекты комфортного, экологически безопасного, энергоэффективного здания

Окно является неотъемлемой частью оболочки здания [2, 3]. Окна необходимы для естественного освещения помещений, они должны обеспечить теплозащитные, воздухоизоляционные и влагозащитные требования. Окна должны надежно защищать помещения от воздушного шума, создаваемого внешними источниками, благодаря окнам создается визуальный контакт с внешней средой.

С теплотехнической точки зрения окна — наиболее сложный элемент оболочки здания. Зимой около 50 % общих трансмиссионных тепловых потерь приходится на окна [4]. Это приводит к ухудшению микроклимата в помещениях и создает более высокую потребность в тепловой энергии. В южных районах РФ высока потребность в кондиционировании воздуха помещений в летний период [5].

Большую часть оконных конструкций занимают светопропускающие изделия — стеклопакеты, для обеспечения их высоких эксплуатационно-технических характеристик необходимо применение инновационных решений. Эти решения основаны на применении многокамерных стеклопакетов [6] с низкоэмиссионными покрытиями [7], мультифункциональными [8] и электрохромными стеклами [9—11]. Подробный анализ теплотехнических и светотехнических характеристик современных конструкций стеклопакетов дан в работах [3, 12]. По сравнению с традиционными решениями электрохромное стекло (рис. 2) дает возможность регулировать климатические воздействия в широких пределах, однако высокая стоимость сдерживает пока его широкое практическое применение.

Рис. 2. Изменение прозрачности электрохромного стекла достигается прохождением через него электрического тока (из открытых источников)

Для повышения эксплуатационно-технических характеристик оконных конструкций в целом наряду со стеклопакетами нуждаются в совершенствовании и другие элементы конструкции, тесно связанные с ними. Так, для изготовления рамочной конструкции необходимо применять надежные и дол-

говечные малотеплопроводные материалы и изделия, правильно размещать оконный блок в стене, использовать прочное крепление конструкций [13—15]. Широкие возможности с точки зрения энергосбережения имеют навесные конструкции двойных вентилируемых светопропускающих фасадов [16]. Современные системы умной солнцезащиты, включая кинетические системы, позволяют в значительной степени повысить уровень комфорта в помещениях и сократить энергетические затраты на системы климатизации здания [17].

Несмотря на многочисленность работ, посвященных исследованиям элементов оконных конструкций, вопрос регулирования климатических воздействий окнами недостаточно хорошо изучен, что затрудняет поиск эффективных решений при проектировании, производстве и эксплуатации оконных конструкций. Актуальность этой проблемы возрастает в связи с разработкой концепции умного дома [12].

Целью данного исследования является определение границ регулирования климатических воздействий (тепловых потоков и температур, естественной освещенности, солнечной радиации) современными оконными конструкциями и оценка их влияния на комфортность и энергоэффективность среды обитания.

Методы исследования

Объектом исследования является биопозитивная конструкция окна в деревянной раме. Толщина рамы 100 мм. Окно двухстворчатое, с импостом. Размеры окна 1,5×1,5 м. Доля остекления окна 70 %.

Рассмотрены следующие элементы конструкции:

1 — однокамерный стеклопакет с низкоэмиссионным и обычным стеклами;

2 — то же, с внутренней деревянной ставней-шторой;

3 — однокамерный стеклопакет с солнцезащитным низкоэмиссионным и обычным стеклами;

4 — двухкамерный стеклопакет с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами;

5 — однокамерный стеклопакет с электрохромным и низкоэмиссионным стеклами, с автоматическим 2-ступенчатым контролем теплопоступлений от солнечной радиации [3].

Во всех указанных выше случаях камеры стеклопакетов заполнены аргоном.

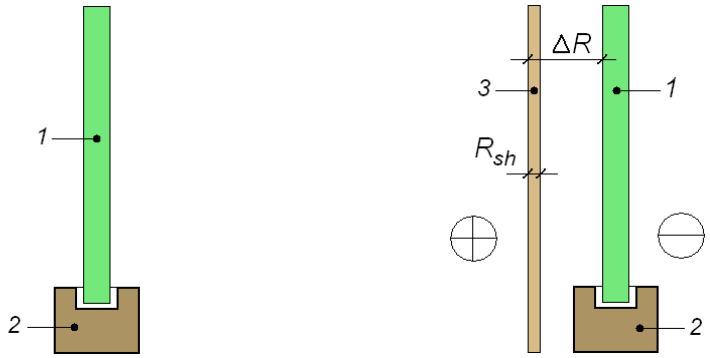
Теплотехнические и оптические характеристики стеклопакетов приведены в [3, 12]. Теплопередача рамы составляет 1,5 Вт/(м^2·К). Добавочные удельные потери теплоты через краевую зону стеклопакета приняты равными 0,06 Вт/(м·К). Добавочное термическое сопротивление внутренней шторы принято равным 0,14 м^2·К/Вт, светопропускание — 0,44, общее пропускание солнечной энергии — 0,80.

Расчет теплотехнических и светотехнических характеристик окон выполнен по методике ISO 10077–1:20 с учетом отдельных положений СП 345.1325800.2017 и СП 23-102—2003.

Теплопередачу стандартной оконной конструкции (без штор), как показано на рис. 3, *а*, определяют по формуле

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + {}_g l_g}{A_w}, \quad (1)$$

где U_w — теплопередача оконной конструкции, Вт/(м^2·К); U_g, A_g — соответственно теплопередача, Вт/(м^2·К), и площадь, м^2, светопропускающей части окна (стеклопакетов); U_f, A_f — соответственно теплопередача, Вт/(м^2·К), и площадь, м^2, непрозрачной части окна (рамы); Ψ_g — добавочные удельные потери теплоты через краевую зону стеклопакета, Вт/(м·К); l_g — длина краевой зоны стеклопакетов, м; A_w — площадь оконной конструкции, м^2.



а *б*

Рис. 3. Схемы оконных конструкций: *а* — без штор; *б* — с внутренней шторой: *1*— стеклопакет, *2* — рама, *3* — штора, R_{sh} — термическое сопротивление шторы, ΔR — добавочное термическое сопротивление для окна при закрытых шторах

Согласно ISO 10077–1:20 в формуле (1) не учитывают добавочные удельные потери теплоты через краевую зону сопряжения оконного блока с наружной стеной. Обычно такие теплопотери относят к наружным стенам и учитывают при определении их приведенного сопротивления теплопередаче. При необходимости изучения влияния формы окон на их теплотехнические характеристики добавочные теплопотери более точно относить к оконным конструкциям и определять приведенное сопротивление теплопередаче окон [18].

Теплопередачу оконной конструкции при наличии шторы (рис. 3, *б*) определяют по формуле

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + R}, \qquad (2)$$

где U_{ws} — теплопередача оконной конструкции с внутренней шторой, Вт/(м^2·К); ΔR — добавочное термическое сопротивление оконной конструкции, вносимое закрытыми шторами, м^2·К/Вт.

Расчеты естественной освещенности на внутренней поверхности окна и теплопоступлений от солнечной радиации через окна выполнены по стандартным методикам, поэтому здесь не приводятся.

Результаты и обсуждение

Снижение теплопотерь и повышение комфортности среды. На рисунке 4 показаны удельные потери теплоты через рассматриваемые конструкции окон и их элементы.

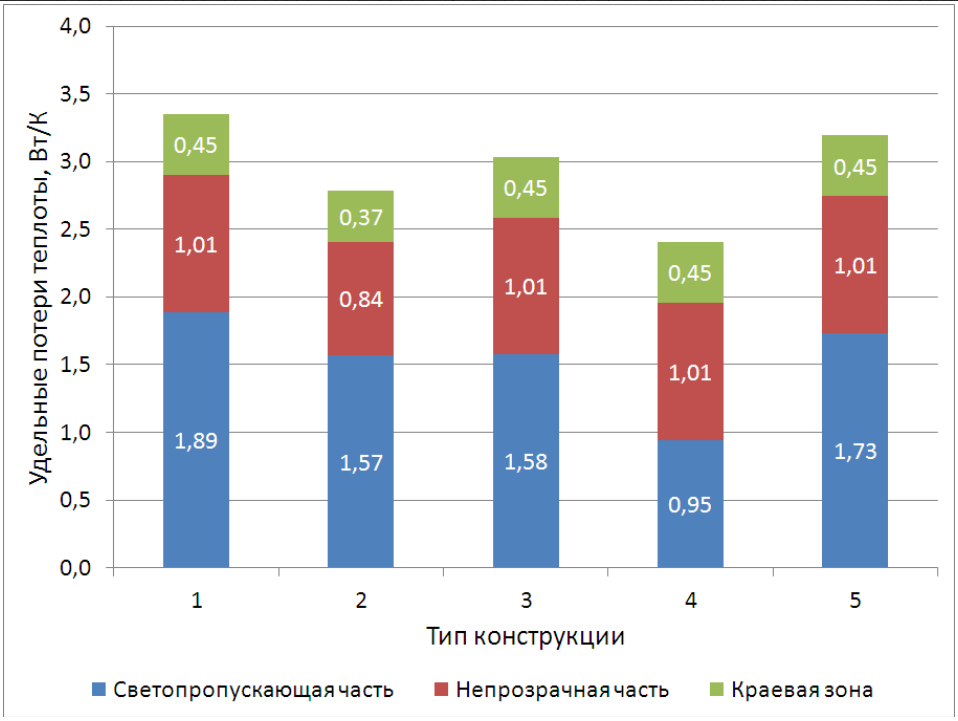


Рис. 4. Удельные потери теплоты через окна и их элементы

Максимальные удельные потери теплоты (3,35 Вт/К) отмечаются через окно с однокамерными стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычным стеклами. Теплопотери через стеклопакет составляют 56,4 % общих теплопотерь через окно. Размещение внутренней деревянной шторы заметно снижает теплопотери через окно (–17 %). Максимальное снижение теплопотерь (–28,1 %) дает конструкция окна с двухкамерным стеклопакетом с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами.

Полученные данные использованы для расчета сопротивления теплопередаче окон и определения температуры на их внутренней поверхности (рис. 5). Средняя температура на внутренней поверхности окон рассчитана в холодный период года при температуре внутреннего воздуха $t_в$ = 20 °С и температуре наружного воздуха $t_н$ = –20 °С.

Анализ результатов показывает, что минимальное значение сопротивления теплопередаче (R_o = 0,67 м^2·К/Вт) имеет окно с однокамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычным стеклами. Такое окно практически исключает конденсацию влаги на внутренней поверхности в широком диапазоне температур наружного воздуха, однако не всегда может обеспечить оптимальные характеристики микроклимата. Применение внутренних деревянных штор, как показано на рис. 5, повышает теплозащитные свойства ограждающей конструкции на 20,9 % и улучшает тепловой комфорт помещения. Наилучшие теплозащитные свойства (R_o = 0,93 м^2·К/Вт) имеет окно с двухкамерным стеклопакетом с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами. В этом случае температура на внутренней поверхности окна приближается к температуре стены, создавая изотермическую оболочку здания.

Такая конструкция обеспечивает оптимальные условия по тепловому комфорту и рекомендуется для применения в зданиях с энергопотреблением, близким к нулевому [5].

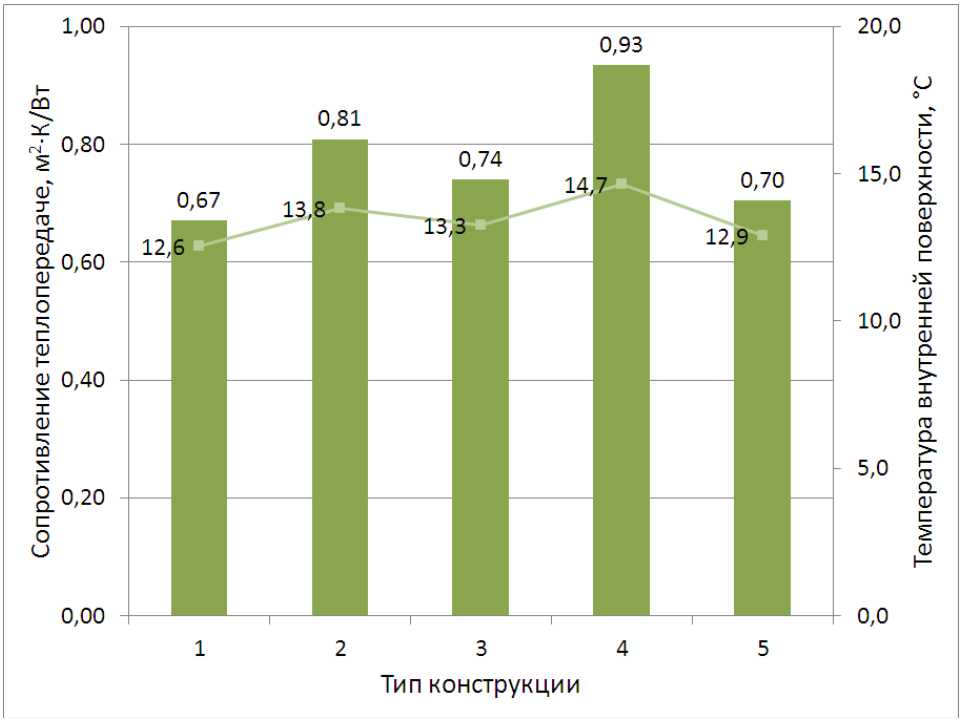


Рис. 5. Сопротивление теплопередаче окон (столбики) и температура на их внутренней поверхности (линия)

Регулирование естественной освещенности. Применяя стеклопакеты с мультифункциональными и электрохромными стеклами, можно заметно изменить световой режим помещений.

На рисунке 6 показан суточный ход естественной освещенности на внутренней поверхности окон южной ориентации в июне.

Из рисунка 6 видно, что характер изменения естественной освещенности в течение суток для различных конструкций окон практически один и тот же. Максимальные значения освещенности отмечаются в полдень. Применение внутренних штор позволяет снизить световой дискомфорт за счет затенения помещения от ярких солнечных лучей. Дальнейшее улучшение световой обстановки может быть достигнуто путем автоматического регулирования светового потока, поступающего в помещение в летний период. Однако более низкий уровень естественного освещения в зимний период может потребовать применения специальных зональных оконных систем, состоящих из участков с различным светопропусканием [3]. Поэтому окончательный выбор конструкции теплоэффективного окна следует осуществлять согласно светотехническому расчету.

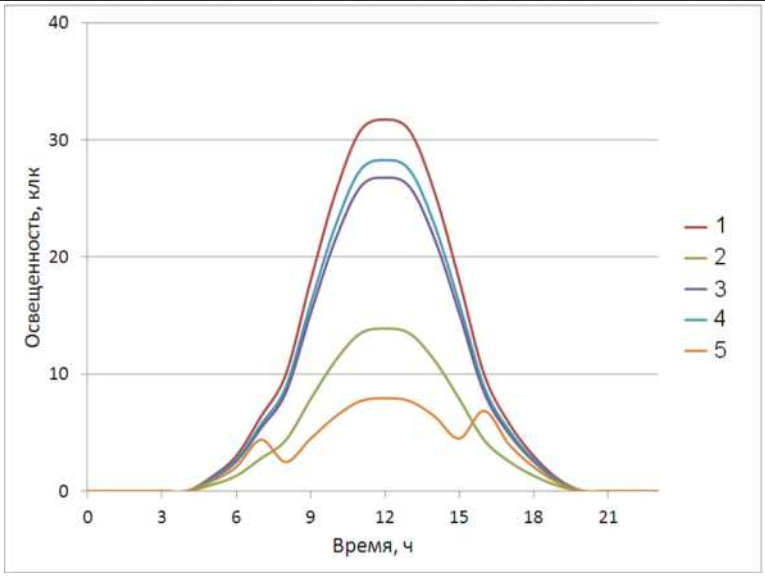


Рис. 6. Суточный ход естественной освещенности (от ясного неба и солнца) на внутренней поверхности окон южной ориентации в июне (45° с. ш.)

Снижение теплопоступлений от солнечной радиации. В южных районах в летний период количество солнечной радиации, падающей на фасады зданий, значительно [1], поэтому необходимо сокращать приток теплоты от солнечного излучения в помещения.

На рисунке 7 показаны суточные теплопоступления суммарной солнечной радиации (на 1 м^2 окна) через окна южной ориентации в июле (48° с. ш.). Указанные значения рассчитаны на основе часовых значений солнечной радиации, с учетом оптических свойств стеклопакетов и затенения непрозрачными элементами окна.

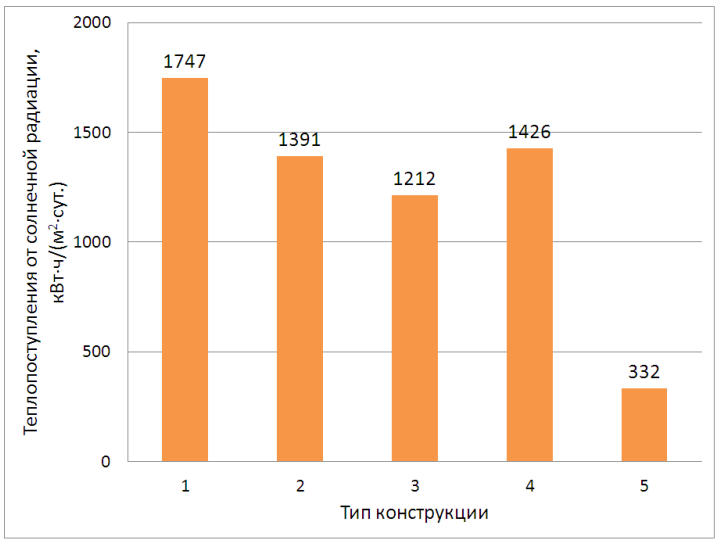


Рис. 7. Теплопоступления суммарной солнечной радиации через окна южной ориентации в июле (48° с. ш.)

Как видно из рис. 7, максимальные солнечные теплопоступления (1747 кВт·ч/м^2 за сутки) происходят через окно с однокамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычным стеклами. Такие конструкции могут создать существенные риски перегрева помещений летом. Применение внутренней деревянной шторы сокращает теплопоступления на 20,4 %, следовательно, такое решение, наряду с затенением, дает заметный теплотехнический эффект. Повышается биопозитивность окна. Более высокий теплотехнический эффект дает применение солнцезащитного стекла, которое позволяет снизить теплопоступления через окна на 30,6 % по сравнению с конструкцией 1. Динамический контроль теплопоступлений от солнечной радиации за счет применения электрохромного стекла позволяет достичь наибольшего теплотехнического эффекта (81 %).

Выводы

На основании полученных результатов комплексного теплотехнического и светотехнического расчетов определены границы регулирования климатических воздействий современными оконными конструкциями.

Наилучшие теплозащитные свойства ($R_o = 0{,}93$ м^2·К/Вт) имеет окно с двухкамерным стеклопакетом с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами. В этом случае температура на внутренней поверхности окна приближается к температуре стены, создавая изотермическую оболочку здания. Такая конструкция обеспечивает оптимальные условия по тепловому комфорту и рекомендуется для применения в зданиях с энергопотреблением, близким к нулевому.

Применение внутренних штор позволяет снизить световой дискомфорт за счет затенения помещения от ярких солнечных лучей. Дальнейшее улучшение световой обстановки может быть достигнуто путем автоматического регулирования светового потока, поступающего в помещение в летний период. Окончательный выбор конструкции теплоэффективного окна следует осуществлять согласно светотехническому расчету.

Динамический контроль теплопоступлений от солнечной радиации за счет применения электрохромного стекла позволяет достичь наибольшего теплотехнического эффекта (81 %).

Таким образом, регулирование климатических воздействий окнами является необходимым условием, позволяющим системно решить актуальную проблему повышения качества среды обитания и сохранения энергии для будущих поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В.* Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 192 с.

2. *Горшков А. С., Миков В. Л.* Проектирование ограждающих конструкций в странах Европейского союза и России // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 5(115). С. 46—54.

3. *Gutai M., Kheybari A. G.* Energy consumption of hybrid Smart Water-filled glass (SWFG) building envelope // Energy Buildings. 2021. Vol. 230. P. 110508.

4. *Корниенко С. В.* Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь через краевые зоны ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 348—351.

5. *Табунщиков Ю. А.* Москва — умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. С. 12—13.

6. Thermal performance evaluation of double panel glass windows / N. M. Salleh, M. H. Azmi, N. A. A. Salim, S. N. Kamaruzzaman, N. S. M. Azizi // Malaysian Construction Research Journal. 2018. Vol. 3. Pp. 141—154.

7. *Chow T.-T., Li C., Lin Z.* Innovative solar windows for cooling-demand climate // Solar Energy Materials. 2010. Vol. 94. Iss. 2. Pp. 212—220.

8. *Arici M., Karabay H., Kan M*. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows // Energy Buildings. 2015. Vol. 86. Pp. 394—402.

9. A comparative energy analysis of three electrochromic glazing technologies in commercial and residential buildings / N. De Forest, A. Shehabi, S. Selkowitz, D. J. Milliron // Applied Energy. 2017. Vol. 192. Pp. 95—109.

10. *Pittaluga M*. The electrochromic wall // Energy and Buildings. 2013. Vol. 66. Pp. 49—56.

11. *Piccolo A*. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell // Energy Buildings. 2010. Vol. 42(9). Pp. 1409—1417.

12. *Корниенко С. В., Миков В. Л., Навроцкий Б. А*. Окна умного дома // Социология города. 2020. № 4. С. 5—18.

13. *Корниенко С. В., Глуховеря Д. Ф.* Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4(67). С. 62—71.

14. Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls / F. Cappelletti, A. Gasparella, P. Romagnoni, P. Baggio // Energy Buildings. 2011. Vol. 43. Iss. 6. Pp. 1435—1442.

15. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position / C. Misiopecki, M. Bouquin, A. Gustavsen, B. P. Jelle // Energy Buildings. 2018. Vol. 158. Pp. 1079—1086.

16. *Carlos J. S.* Optimizing the ventilated double window for solar collection // Solar Energy. 2017. Vol. 150. Pp. 454—462.

17. Smart windows for carbon neutral buildings: A life cycle approach / A. Pierucci, A. Cannavale, F. Martellotta, F. Fiorito // Energy Buildings. 2018. Vol. 165. Pp. 160—171.

18. *Корниенко С. В.* Невыученные уроки теплофизики светопропускающих конструкций // Светопрозрачные конструкции. 2020. № 1—2(129—130). С. 45—49.

© Корниенко С. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Регулирование климатических воздействий окнами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 224—233.

Об авторе:

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; skorn73@mail.ru

Sergei V. Kornienko

Volgograd State Technical University

REGULATION OF CLIMATIC IMPACTS BY WINDOWS

Buildings are subject to various climatic influences. Windows are an integral part of the building envelope. They are necessary for natural lighting of premises, for protection of premises from noise created by external sources, as well as for provision of heat protection, air insulation and moisture protection requirements. Limits of regulation of climatic impacts by modern window structures are defined. It has been shown that the regulation of climatic impacts by windows is a necessary condition that allows to systematically solving the current problem of creating a comfortable, environmentally safe, energy-efficient habitat.

K e y w o r d s: climate, climate impacts, smart window, healthy building, comfort, energy efficiency, energy conservation.

For citation:

Kornienko S. V. [Regulation of climatic impacts by windows]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 224—233.

About author:

Sergei V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; skorn73@mail.ru

УДК 66.081.2(658.52.011.56)

Н. А. Меренцов[а], А. В. Персидский[б], А. С. Гендлер[а], А. Б. Голованчиков[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] АО «ФНПЦ “Титан-Баррикады”»

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НАСАДОЧНЫХ АБСОРБЕРОВ СИСТЕМ ГАЗООЧИСТКИ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых — кандидатов наук МК-1287.2020.8 «Моделирование процессов управления в массообменном экологическом и нефтегазоперерабатывающем оборудовании»

Рассмотрена система адаптивного автоматизированного управления режимами работы массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками на основе распознавания всплесков инерционных составляющих структуры фильтрационных течений через слои упруго-деформируемых насадочных материалов. На примере насадочной абсорбционной колонны селективной очистки газовых выбросов описан алгоритм функционирования системы автоматического управления работой массообменного аппарата за счет распознавания гидромеханического режима работы, введения и удержания аппарата в оптимальном режиме за счет пошагового объемного деформирования блоков насадочных материалов. Гидродинамический режим эмульгирования (инверсии фаз) обладает наивысшими показателями степеней взаимного перемешивания продуктов массообмена, сопровождается высокой удерживающей способностью насадочных блоков по жидкой и газовой фазам, что соответствует акцентированным требованиям процесса абсорбции газов и является гарантом наивысших доступных степеней улавливания молекул, извлекаемых из газовых потоков компонентов. Поскольку режим эмульгирования представляет собой достаточно узкий диапазон режимов работы массообменного аппарата, его достижение и поддержание возможно только средствами автоматизации. Применение упруго-деформируемых насадочных блоков позволяет расширить диапазон объемных расходов газовой фазы и жидкого абсорбента, при которых режим эмульгирования может быть достигнут. Предложена программа автоматического управления режимами работы массообменной системы, которая использует в своей работе данные, полученные в процессе автоматизированной калибровки технологических параметров массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками. Описана схема управления, которая делает массообменный аппарат самонастраивающимся, а возможность периодического повторения процесса автокалибровки позволяет аппарату адаптироваться к изменяющимся в процессе эксплуатации параметрам массообменной системы (загрязнению поверхностей насадочных элементов и остаточной деформации насадочного блока). Разработана система управления на основе текущего анализа начальных и конечных концентраций улавливаемых веществ в потоках сплошных газовых фаз, а заложенная в эту систему программа управления осуществляет регулирование режимов работы в широких диапазонах за счет деформирования насадочных блоков и изменения соотношения расходов жидкой и газовой фаз, что позволяет автоматически обеспечивать баланс массообменной системы между наивысшими доступными показателями степеней улавливания молекул извлекаемых из газовых потоков компонентов и энерго- и ресурсосбережением, за счет снижения гидравлического сопротивления и снижения расхода чистого абсорбента.

К л ю ч е в ы е с л о в а: массообмен, теплообмен, насадочный материал, гидродинамика, газодинамика, фильтрационные течения, абсорбция, ректификация, очистка газовых выбросов, индекс турбулизации.

Массообменные процессы абсорбции, ректификации, экстракции, испарительного охлаждения, мокрой очистки газов, реакторные процессы и другие с применением массообменных насадочных контактных устройств явля-

ются неотъемлемой частью технологических процессов многих важнейших отраслей промышленности: химической, нефтегазовой, нефтехимической, атомной, металлургической, строительной, фармакологической, биохимической, пищевой и смежных отраслей производства [1—11]. Показатели работы вышеуказанных видов технологического массообменного оборудования напрямую зависят от качества контактных устройств и интенсивности протекающих в них гидродинамических режимов, взаимосвязанных с эффективностью диффузионных тепло- и массообменных процессов и сопутствующими показателями оптимизации и энерго- и ресурсосбережения [12—23].

Разработка и совершенствование тепло- и массообменных контактных устройств, оптимизация гидромеханических режимов, протекающих в них, в последние годы идут очень активно [1—23]. Основными задачами, которые призваны решать контактные массообменные устройства, являются развитие поверхности межфазного контакта, обеспечение необходимого времени пребывания продуктов массообмена, повышение удерживающих способностей по жидкой и газовой фазам, реализация развитых гидромеханических режимов, обеспечивающих интенсивное омывание поверхностей тепломассопередачи, активизация взаимного перемешивания и диффузионных процессов между контактирующими продуктами массообмена. Усилия ученых, разрабатывающих насадочные контактные элементы, направлены на придание определенной геометрической конфигурации и поверхностных свойств, которые приводят к искомым эффектам интенсификации, а также создание условий протекания тепломассообменных процессов, сопутствующих наивысшим показателям работы технологического оборудования.

Работа над совершенствованием массообменных насадочных контактных устройств привела авторов к новому перспективному направлению, которое базируется на упругом деформировании насадочных материалов [24—28]. При этом упругое деформирование насадочных блоков открывает уникальные возможности тончайшего адаптивного регулирования режимов работы массообменных аппаратов, так как в ходе упругого деформирования насадочного блока варьируется его структура, меняются каналы для течения жидкостей и газов, полностью перестраивается гидрогазодинамика продуктов массообмена. И это адаптивное регулирование и оптимизация гидродинамических режимов может происходить в автоматическом режиме, для этого необходимо создавать массообменные системы, обладающие функциональными способностями распознать и классифицировать гидродинамические режимы в широком диапазоне регулирования объема насадочных блоков. Одним из разработанных и наиболее универсальных (доступных) как в лабораторной, так и в промышленной практике является «индекс турбулизации», который характеризует гидродинамические всплески режимов работы и является прямым отражением нарастающей инерционной составляющей структуры фильтрационного течения продуктов массообмена через слой насадочного материала [24, 29]. В работе [30] подробно рассмотрен алгоритм автоматической калибровки технологических параметров упруго-деформируемых насадочных блоков, на базе которого реализована программа автоматизированного управления режимами работы массообменной системы. Полученные

в ходе калибровки массообменной системы [30] параметры могут служить необходимыми эталонными значениями для поддержания оптимальных показателей как с точки зрения интенсивности процессов массообмена, наивысших доступных степеней разделения и концентрирования продуктов массообмена, так и с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, и позволят осуществлять текущее адаптивное регулирование в автоматизированном режиме.

В качестве упруго-деформируемых насадочных материалов контактных блоков массообменных аппаратов могут выступать абсолютно различные насадочные тела: металлические, полимерные, хаотично ориентированные, структурированные и т. д. Основное требование к ним: обладать упругими свойствами в широком диапазоне нагрузок и деформаций, достаточной химической и термической стойкостью к продуктам массообмена и условиям протекания технологических процессов, требуемыми поверхностными и структурными свойствами, обеспечивая условия для протекания гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов с должной интенсивностью [24—28].

На стадии пусконаладочных работ осуществляется программа калибровки технологических параметров массообменной системы с упруго-деформируемыми насадочными блоками [30]. Калибровка технологических параметров позволяет получать все необходимые сведения о массообменной системе и диапазоны регулирования гидрогазодинамики насадочных блоков, распознавать нижний и верхний пределы существования режимов эмульгирования для различных степеней сжатия насадочных блоков и расходов жидкого абсорбента. Таким образом получаются необходимые сведения для реализации программы управления режимами работы массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками, подробное описание которой будет приведено в данной работе. Программа управления режимами работы массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками позволяет, в частности, осуществлять процессы очистки газовых выбросов как в энерго- и ресурсосберегающих режимах, так и в режимах тотального улавливания вредных веществ в условиях непредвиденных всплесков концентраций в потоках сплошных газовых фаз.

В работе рассмотрена адаптивная система автоматизированного регулирования гидродинамических режимов упруго-деформируемых насадочных блоков массообменных аппаратов, в качестве насадочного материала которых будут выступать отходы металлообрабатывающих станков (металлическая стружка), обладающие упругими свойствами [24—28]. Но следует отметить, что разработанные системы автоматизированной калибровки [30] и управления режимами работы могут быть реализованы с любыми насадочными материалами упруго-деформируемых насадочных блоков.

Важнейшей функциональной способностью, которой могут обладать далеко не все виды технологического экологического оборудования, является способность осуществлять работу и сохранять высокие показатели степеней улавливания вредных веществ в аварийных режимах работы, т. е. в случаях аварийных выбросов и непредвиденных резких всплесков концентраций улавливаемых компонентов в потоках сплошных фаз (газ или жидкость).

Массообменные насадочные абсорбционные колонны селективной очистки газовых выбросов должны быть рассчитаны на определенные концентрации улавливаемых компонентов и определенные расходы сплошной газовой фазы, подлежащей очистке, с относительно небольшими отклонениями технологических параметров. Основной задачей на этапах исследования является оптимизация режимов работы, распознавание и автоматическое поддержание (устойчивой промышленной эксплуатации в выбранных режимах) гидромеханических режимов работы массообменных аппаратов (насадочных блоков), обладающих наивысшими показателями интенсивности массообменных процессов, а именно режима эмульгирования (инверсии фаз). Несмотря на то, что массообменная насадочная абсорбционная колонна сможет обеспечить высокую степень улавливания вредных веществ (при селективной очистке газовых выбросов), обеспечивая стабильный режим инверсии (эмульгирования, развитой турбулизации) при помощи разработанных средств (программ) автоматизации, система не будет иметь функциональной возможности перестроиться под аварийные выбросы или аварийные резкие всплески концентраций улавливаемых компонентов, так как она работала на теоретическом пределе своих возможностей, а увеличить расход по свежему поступающему абсорбенту («задушить» колонну по абсорбенту) не представляется возможным, так как это либо приведет к нарушению гидродинамического режима работы колонны, либо вынудит инициировать снижение расхода по очищаемой сплошной газовой фазе с повышенными концентрациями вредных веществ, что также неприемлемо. То есть добиться стабильных высоких показателей улавливания и устойчивости эффективных гидродинамических режимов работы массообменных аппаратов со стационарными слоями контактных устройств возможно, но перестроиться и отреагировать на аварийные выбросы и всплески концентраций вредных веществ в потоках сплошных очищаемых фаз при этом не удается.

Эта необходимость существенного расширения функциональных режимных возможностей массообменного оборудования формирует новое направление по оптимизации, интенсификации и возможности обеспечить высокие стабильные показатели очистки (улавливания) вредных веществ в случаях аварийных выбросов или аварийных всплесков концентраций улавливаемых веществ в потоках сплошных фаз. Данное направление авторы реализуют конструктивно (в рамках новых конструкций промышленных массообменных сорбционных аппаратов) и закладывают в алгоритмы и программы автоматизированного управления массообменными экологическими системами.

Новое направление расширения режимных возможностей работы массообменного оборудования и способности перестраиваться и адаптироваться под аварийные выбросы и резкие всплески концентраций улавливаемых компонентов базируется на двух основных направлениях (подклассах, «инструментах»):

1. Применение новых конструкций массообменных насадочных колонн, состоящих из упруго-деформируемых насадочных секций, имеющих возможность автоматического адаптивного (самоадаптивного) регулирования

режимов работы в широких диапазонах расходов сплошных газовых фаз и абсорбентов. При этом разработаны алгоритмы и программы автоматической калибровки технологических параметров и управления режимами работы массообменных насадочных колонн с регулируемыми насадочными блоками.

2. Наложение регулируемых электрических полей заданной напряженности на сорбционные и электросорбционные процессы позволяет осуществлять вариативное регулирование режимов работы массообменных сорбционных аппаратов в широких диапазонах, от режима энергосбережения («спящего» режима) до аварийных режимов улавливания вредных веществ в условиях всплесков концентраций в технологических потоках [24, 31, 32].

Одно из важнейших и перспективных направлений, относящихся к первому подклассу, а именно система автоматизированной калибровки технологических параметров и управления режимами работы массообменных насадочных абсорбционных аппаратов селективной очистки газовых выбросов с упруго-деформируемыми (регулируемыми) насадочными блоками на базе «индекса турбулизации», т.е. распознавания структуры фильтрационных течений через слой насадочных материалов, и будет рассмотрена в данной работе.

Гидравлическая система управления упруго-деформируемыми насадочными блоками массообменных аппаратов выбрана авторами по нескольким причинам, а именно высокая нагрузочная способность, надежность, высокая химическая и термическая стойкость, неприхотливость, точность, достаточная компактность. Выбор в пользу гидравлической системы управления (гидроцилиндры) был сделан также по конструктивным признакам массообменных насадочных аппаратов, а именно по разбиению насадочной части на секции (блоки), что связано с необходимостью перераспределения потоков жидкости и газа посредством жидкостных перераспределителей, установленных в опорной части каждой секции насадочных блоков. Эта конструктивная особенность массообменных колонных насадочных аппаратов исключает любые трудности, связанные с компоновкой и монтажом гидравлической системы регулирования объема насадочных блоков. Гидравлические системы имеют функциональные возможности работать как в плавных, так и в импульсных (пульсационных) режимах [27], что также открывает уникальные возможности по интенсификации тепломассообменных процессов и осуществлению гидрогазодинамических режимов и диффузионных процессов в условиях пульсационной нестационарности.

Система управления насадочным абсорбером, схема которой представлена на рис. 1, предназначена для управления упруго-деформируемыми насадочными блоками, а также самоадаптации режима работы массообменного аппарата с целью достижения и поддержания оптимальных с точки зрения баланса энергосбережения и производительности по улавливаемым компонентам параметров его работы.

Схема состоит из упруго-деформируемого насадочного блока, находящейся между двумя решетками. Нижняя решетка РН является неподвижной, а верхняя перемещается вертикально под действием гидравлических цилин-

дров ГЦ1 и ГЦ2. Давление масла в цилиндры нагнетается масляным насосом МН, электродвигатель М1 которого включается магнитным контактором КМ. Масло подается в камеры цилиндров через клапаны с электромагнитным приводом, причем через клапан К1 масло подается в верхние камеры цилиндров, что инициирует опускание решетки РВ и сжатие насадочного блока, а через клапан К2 — в нижние, что вызывает подъем решетки. Через клапаны К3 и К4 производится сброс масла из камер цилиндров в масляный резервуар МР.

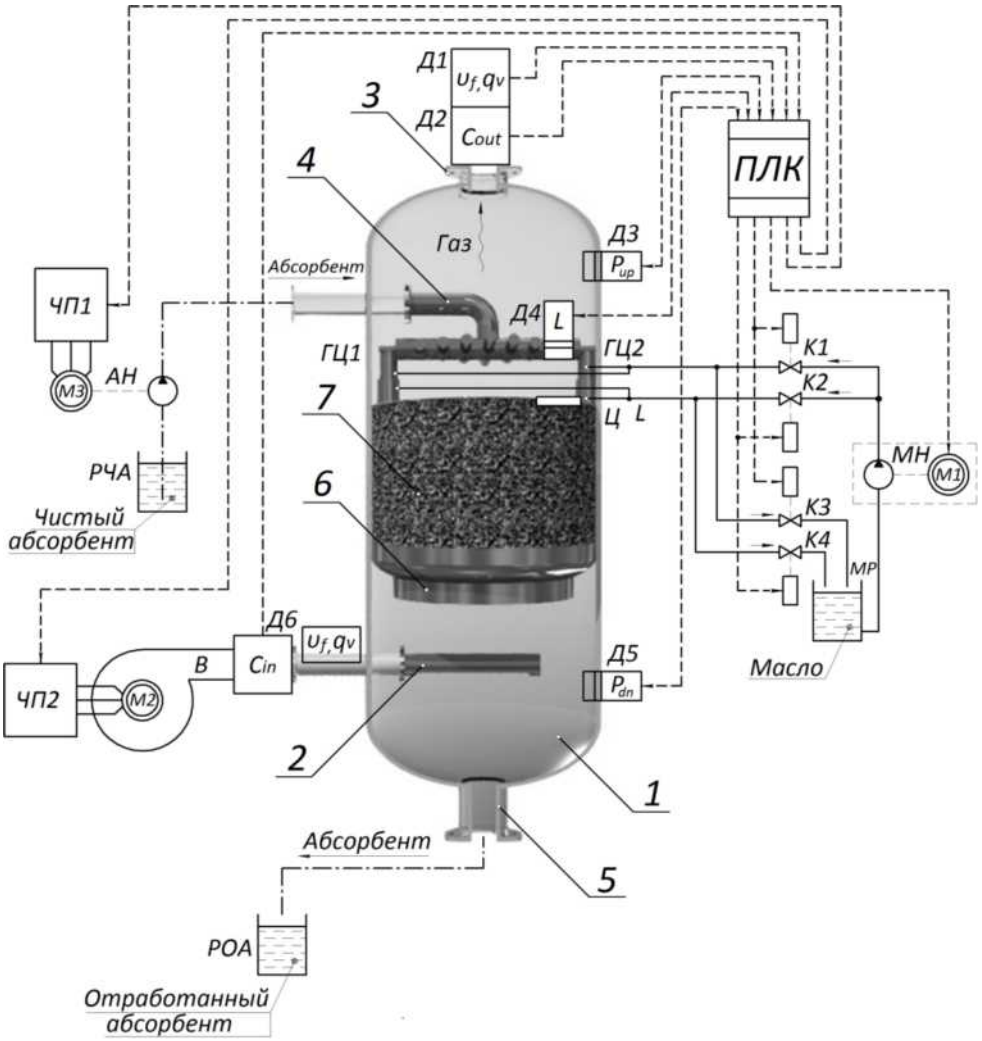


Рис. 1. Схема управления секцией массообменного аппарата с упруго-деформируемыми насадочными блоками: *1* — корпус массообменного аппарата; *2*, *3* — патрубки (штуцера) для ввода и вывода очищаемого потока сплошной газовой фазы; *4* — распределитель (ороситель) жидкого абсорбента; *5* — патрубок (штуцер) для отвода отработанного абсорбента, *6* — перераспределитель жидкости (опорная решетка насадочного блока); *7* — упруго-деформируемый массообменный насадочный блок

Очищаемый поток сплошной газовой фазы подается в аппарат под давлением, нагнетаемым напорной воздуходувкой В с электродвигателем М2, управление частотой вращения которого осуществляется частотным преобразователем ЧП2. Абсорбент подается в массообменный аппарат насосом подачи жидкого абсорбента АН, имеющим привод от электродвигателя М3. Управление частотой вращения М3 осуществляется частотным преобразователем ЧП1. Абсорбент забирается насосом из резервуара чистого абсорбента (РЧА), проходит через массообменный аппарат, селективно очищая поток сплошной газовой фазы, и сбрасывается в резервуар отработанного абсорбента (РОА), откуда забирается на регенерацию и возвращается в РЧА.

Программируемый логический контроллер (ПЛК) циклически выполняет управляющую программу, передавая сигналы управления клапанам К1—К4, частотным преобразователям ЧП1, ЧП2 и контактору КМ.

ПЛК получает информацию о текущем состоянии процесса с помощью датчиков. Анемометрический датчик Д1 измеряет скорость (объемный расход) газового потока в выходном газовом патрубке массообменного аппарата, что позволяет определить скорость (расход) фильтрации газового потока через аппарат. Датчик концентрации извлекаемого вещества Д2 позволяет определять конечную (остаточную) концентрацию улавливаемого вещества в выходящем из массообменного аппарата потоке газовой фазы. Конструкция и тип этого датчика определяются контролируемым веществом. Датчики Д3 и Д5 измеряют давление газа (гидравлическое сопротивление насадочного блока) соответственно в верхнем и нижнем патрубках массообменного аппарата. Неподвижно установленный на корпусе массообменного аппарата или гидроцилиндра ультразвуковой датчик расстояния Д4 отслеживает положение верхней решетки, измеряя расстояние L до цели Ц — металлической пластины, закрепленной горизонтально на решетке. Аналогичный датчику Д2 датчик Д6 измеряет начальную концентрацию улавливаемого вещества во входящем в массообменный аппарат газовом потоке.

Управляющая программа представляет собой цикл, выполняющийся непрерывно в процессе технологической эксплуатации массообменного аппарата. Главный принцип программы — реализовать режим работы массообменного аппарата, обеспечивающий баланс между энергосбережением и эффективностью работы при недопущении превышения заданной максимальной концентрации извлекаемого вещества в выходящем потоке сплошной газовой фазы. Пуск аппарата начинается со ввода максимально допустимой конечной концентрации извлекаемого вещества в исходящем потоке сплошной газовой фазы, а также необходимой скорости (объемного расхода) газа через массообменный аппарат, которую необходимо поддерживать. Выполнение программы начинается с того, что оператор задает значения максимально допустимой концентрации извлекаемого вещества в выходящем из аппарата газе $C_{\max}$ и скорости фильтрации газового потока $V_{f\text{stab}}$, которую необходимо поддерживать. Затем, после задания начального значения переменной *PerF*2, отвечающей за задание частоты питания электропривода вихревой воздуходувки В в процентах от максимального значения, программа входит в главный цикл. Программа выдает частотному преобра-

зователю ЧП2 команду установить частоту питания вихревой воздуходувки. При первой итерации она равна 10 %. Затем программа получает с датчика Д1 значение скорости (объемного расхода) газового потока V_f и сравнивает его с введенным значением $V_{f\text{stab}}$ с учетом среднеквадратического отклонения показаний датчика Д1. Если фактическая скорость (объемный расход) V_f меньше требуемой, программа прибавляет 1 к значению переменной *PerF*2, если больше — вычитает 1. Затем программа проверяет, не вышло ли значение *PerF*2 за пределы 0…100 % и если вышло, присваивает соответственно значения 0 или 100. Затем программа получает с датчика Д4 значение фактической координаты верхней решетки насадочного блока *Lf*, после чего определяет значение фактической координаты решетки в процентах от максимальной, т. е. от крайнего нижнего положения. Затем программа получает с датчиков Д6 и Д2 значения концентраций извлекаемого вещества во входящем в аппарат (C_{in}) и выходящем из аппарата (C_{out}) газовом потоке, после чего сравнивает их с максимально допустимыми. Если начальная концентрация превышает значение $C_{\max}$ или концентрация вещества в выходящем из аппарата газовом потоке больше либо равно $C_{\max}$, программа выдает команду частотному преобразователю ЧП1 установить максимальную частоту питания электропривода насоса подачи абсорбента. Затем программа получает значения давления с датчиков до и поле насадочного блока (гидравлического сопротивления насадочного блока), после чего рассчитывает сначала разность давлений, а затем фактический индекс турбулизации *nf* (значения получены в ходе калибровки технологических параметров [30]), после чего проверяет, входит ли значение *nf* в интервал индексов от соответствующего началу режима эмульгирования до предшествующего захлебыванию. Значения индексов, определенные в процессе калибровки технологических параметров, загружаются, соответственно, из массивов nEmu100 и nMax100, хранящихся в ПЗУ контроллера. Массивы выбираются в зависимости от заданной частоты питания насоса подачи свежего абсорбента, а номер элемента в массиве — от степени сжатия насадочного блока в процентах от максимальной. В ПЗУ хранятся массивы для 100, 85, 65 и 50%-й частоты питания насоса подачи свежего абсорбента. Если фактический индекс турбулизации *nf* входит в интервал, программа не делает ничего, если оказывается меньше соответствующего значения nEmu100, программа выдает команду на открытие соответствующих клапанов, инициирует сжатие насадочного блока гидроцилиндрами. Если *nf* оказался больше соответствующего значения nMax100, программа выдает команду на открытие соответствующих клапанов, инициируя разжатие упруго-деформируемого насадочного блока.

Для случаев, когда концентрация извлекаемого вещества во входящем в аппарат потоке сплошной газовой фазы оказывается больше $1{,}85C_{\max}$ или $1{,}65C_{\max}$ или в выходящем из аппарата газе оказывается больше $0{,}85C_{\max}$ или $0{,}65C_{\max}$, программа устанавливает частоту питания насоса подачи свежего абсорбента соответственно 85 или 65% и производит действия, аналогичные вышеописанным. Если ни одно из этих условий не выполнилось, программа устанавливает частоту питания насоса подачи свежего абсорбента насоса

50 %, после чего проверяет, является ли концентрация извлекаемого вещества во входящем в аппарат газе большей либо равной заданной максимальной C_{max}. Если является, программа поддерживает индекс турбулизации в диапазоне режима эмульгирования при 50%-й частоте питания насоса подачи свежего абсорбента аналогично вышеописанным случаям. Если нет, программа проверяет, является ли выходная концентрация извлекаемого вещества нулевой, и если является, программа вводит и удерживает массообменный аппарат в режиме развитой турбулизации, предшествующем режиму эмульгирования, но обладающему существенно меньшими энергетическими затратами. Его условие — нахождение фактического индекса турбулизации в пределах от середины интервала режима турбулизации до начала режима эмульгирования. За начало режима турбулизации принимается индекс турбулизации 1,5—1,7 (все значения индексов определяются в ходе калибровки [30]). Удержание индекса турбулизации в заданных пределах производится аналогично предыдущим режимам: при уходе фактического индекса турбулизации ниже интервала программа инициирует сжатие насадки, а при уходе выше — разжатие.

Если конечная концентрация извлекаемого вещества в выходящем из аппарата потоке сплошной газовой фазы ненулевая, программа не меняет режим работы массообменного аппарата. После описанных действий цикл повторяется. Число повторений цикла неограниченно: он повторяется непрерывно в ходе промышленной эксплуатации массообменного аппарата.

Алгоритм программы автоматизированного управления режимами работы массообменной колонны с упруго-деформируемыми насадочными блоками приведен на рис. 2.

Аварийный режим, предусмотренный алгоритмом программы, обеспечивает самоадаптивный переход системы управления упруго-деформируемых насадочных блоков в гидродинамический режим инверсии (эмульгирования) при повышенных расходах абсорбента, при превышении начальной концентрации извлекаемых компонентов на заданное оператором значение. В аварийном режиме улавливания программа обеспечивает устойчивую работу насадочных блоков массообменной колонны в режиме инверсии фаз, т. е. на пике (на пределе) своих показателей в условиях максимальной интенсификации массообменных процессов и вне зависимости от колебаний расходов сплошной газовой фазы. При этом также предусмотрен перерасход абсорбента при необходимости улавливания повышенных концентраций вредных компонентов и переход к соответствующим откалиброванным параметрам упруго-деформируемых насадочных блоков, неизменно поддерживающих режим инверсии (эмульгирования).

Схема многосекционного промышленного массообменного аппарата селективной очистки газовых выбросов приведена на рис. 3. Каждая секция многосекционного аппарата имеет возможность автономного гидромеханического регулирования на базе технологических параметров, полученных в ходе калибровки упруго-деформируемых секций насадочных материалов.

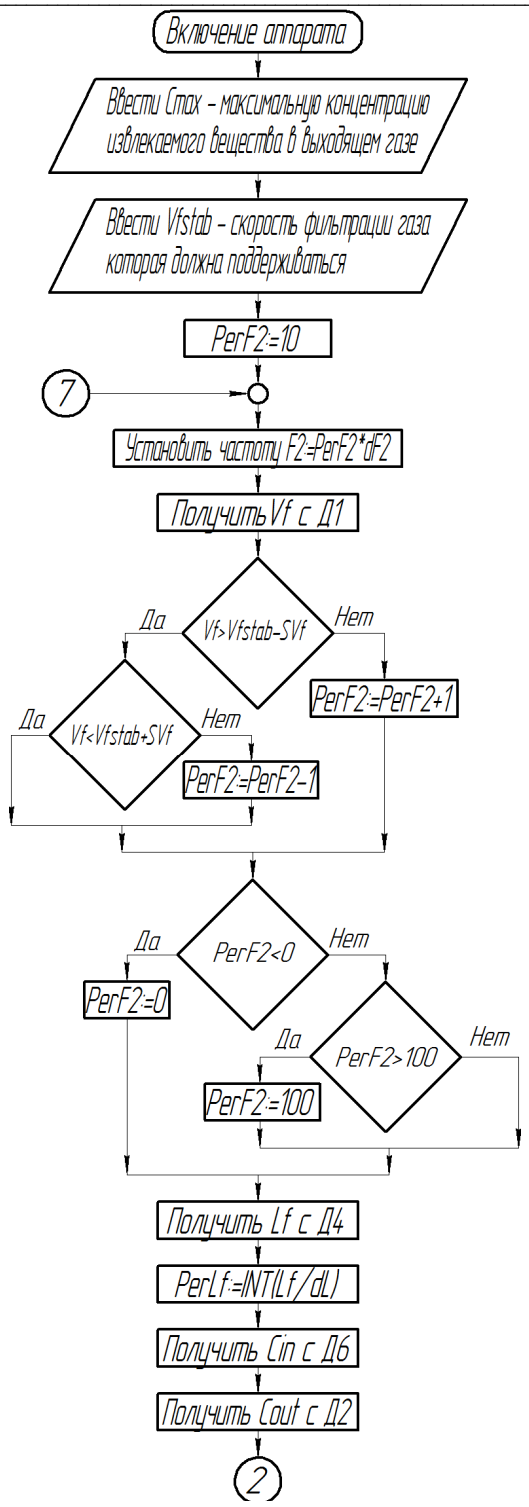


Рис. 2 (начало). Алгоритм программы автоматизированного управления режимами работы массообменной колонны с упруго деформируемыми насадочными блоками

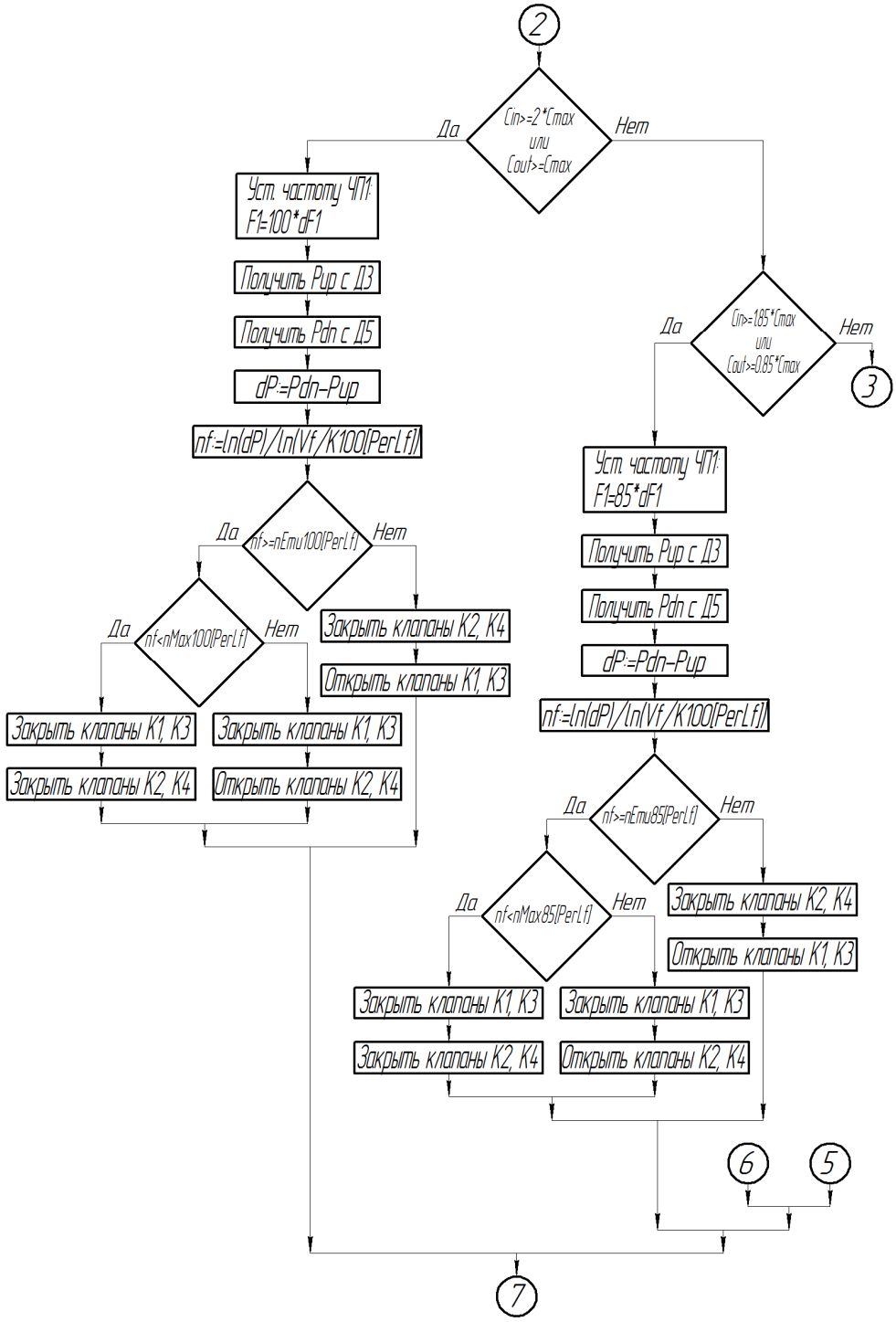


Рис. 2 (продолжение). Алгоритм программы автоматизированного управления режимами работы массообменной колонны с упруго деформируемыми насадочными блоками

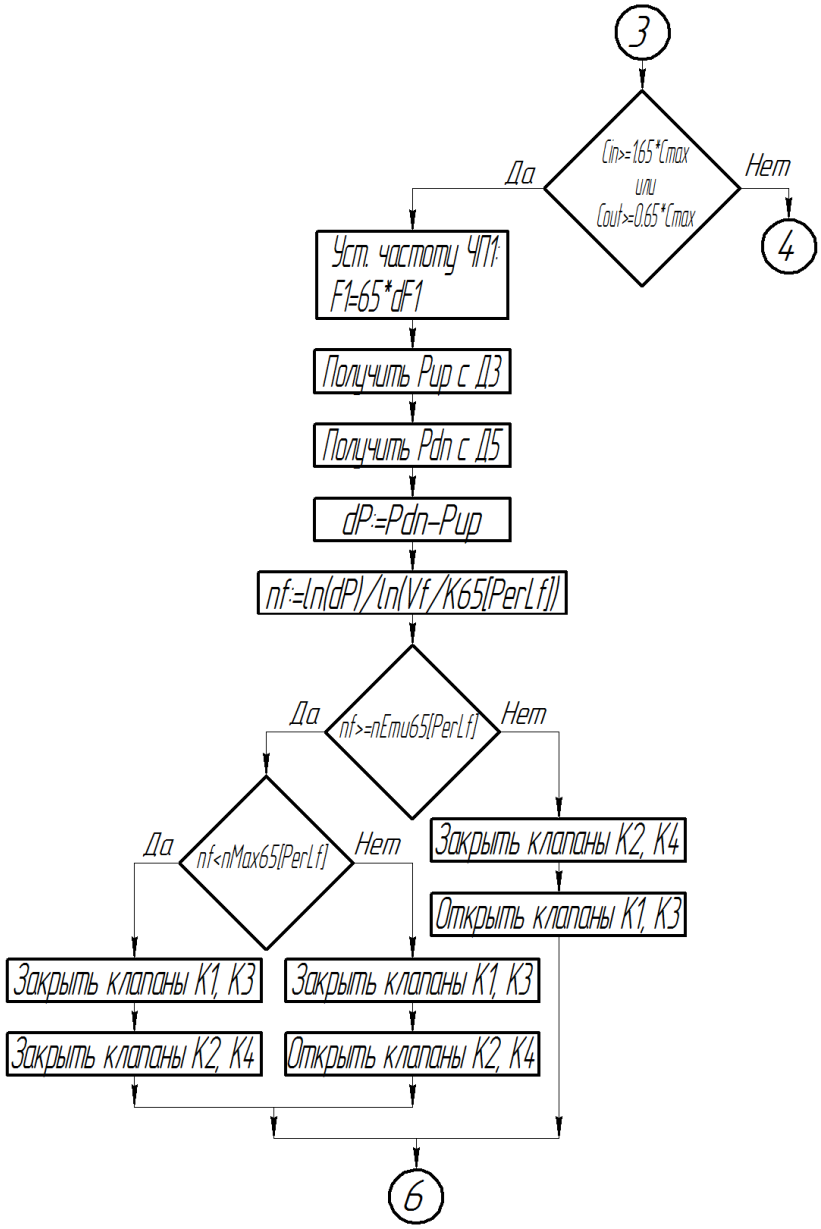


Рис. 2 (продолжение). Алгоритм программы автоматизированного управления режимами работы массообменной колонны с упруго деформируемыми насадочными блоками

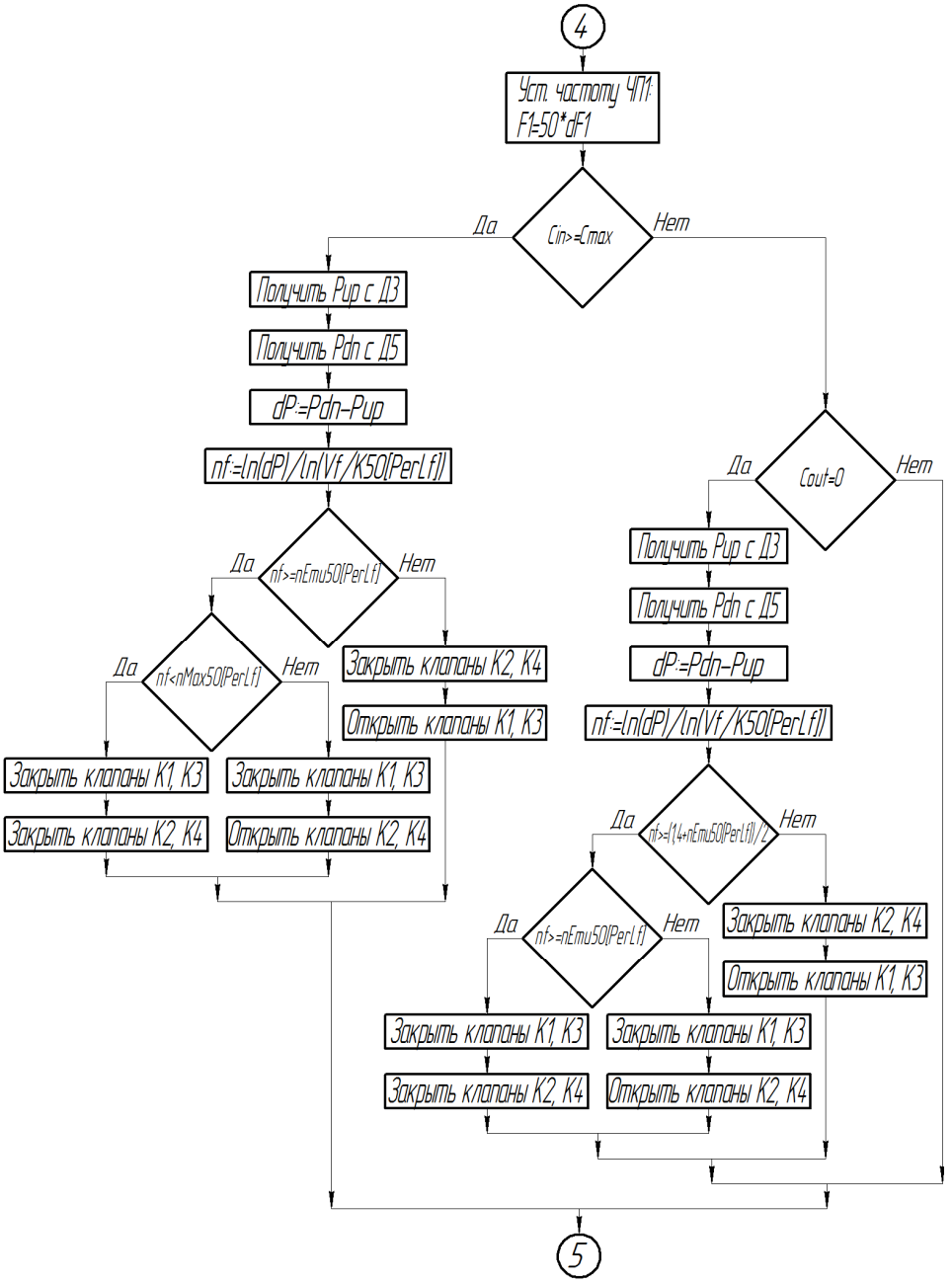


Рис. 2 (окончание). Алгоритм программы автоматизированного управления режимами работы массообменной колонны с упруго деформируемыми насадочными блоками

Рис. 3. Схема многосекционного промышленного массообменного аппарата селективной очистки газовых выбросов с упруго-деформируемыми насадочными блоками

Заключение

Таким образом, представленная система адаптивного автоматизированного управления гидрогазодинамическими режимами за счет деформирования упруго-деформируемых насадочных блоков массообменных аппаратов позволяет достигать и поддерживать развитые гидродинамические режимы работы массообменных аппаратов, такие как режимы развитой турбулизации

или инверсии фаз (эмульгирования), обеспечивая наивысшие доступные показатели степеней улавливания (в процессах очистки) и концентрирования продуктов массообмена, добиваясь предельно возможных для управляемых систем условий интенсификации процессов тепло- и массообмена.

Одним из самых перспективных насадочных материалов, поддающихся текущему упругому деформированию, являются отходы металлообрабатывающих станков, образующиеся в ходе механической обработки легированных марок сталей, соответствующие определенным требованиям и классифицируемые [24—28]. Следует отметить, что данным способом, а именно механической обработкой заготовок требуемых марок сталей при оптимальных режимах резания, есть возможность изготавливать насадочные материалы, обладающие акцентированными структурными и поверхностными свойствами, определенной геометрией и чистотой поверхности, что позволит добиться наивысших гидродинамических показателей в условиях максимально доступной устойчивости к агрессивным воздействиям. Но также необходимо указать, что упруго-деформируемыми насадочными материалами могут выступать другого рода металлические и неметаллические (полимерные) насадочные элементы, обладающие упругими свойствами, отвечающие требованиям протекающего массообменного процесса и обладающие устойчивостью к агрессивным и атмосферным воздействиям.

Предлагаемая идея применения отходов металлообрабатывающих станков в качестве насадочных материалов упруго-деформируемых тепломассообменных блоков способна оказать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект и частично решить проблему утилизации промышленных отходов машиностроительных предприятий и смежных отраслей промышленности.

В представленной работе в программу управления заложены произвольные значения превышений концентраций улавливаемых веществ в потоке сплошной газовой фазы и алгоритм соответствующего адаптивного гибкого регулирования параметров массообменной системы. В программу управления оператором могут быть заложены любые требуемые технологические параметры и пределы концентраций улавливаемых веществ, исходя из свойств конкретного технологического процесса и массообменного сорбционного аппарата, свойств улавливаемых веществ, предельно допустимых концентраций и т. д.

Все операции по управлению гидродинамическими режимами массообменного аппарата и технологическими параметрами осуществляются при постоянном текущем анализе начальных и конечных концентраций извлекаемых веществ в потоке газовой фазы. Разработанная система в случаях аварийных выбросов имеет возможность автоматически перестроиться из энерго- и ресурсосберегающих в аварийные режимы улавливания извлекаемых из газовых потоков компонентов за счет перехода массообменной системы к повышенным расходам свежего абсорбента, при поддержании устойчивого режима эмульгирования в объеме насадочных блоков, т. е. при максимально доступных показателях интенсивности массообменных диффузионных процессов и показателях степени взаимного перемешивания потоков жидкой и газовой фаз.

Разработанные программы калибровки технологических параметров и управления режимами работы насадочных массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками позволят добиться наивысших показателей работы с точки зрения интенсивности протекающих тепломассообменных процессов и степеней очистки газовых выбросов для широкого спектра конструкций массообменных аппаратов с учетом сложнейших особенностей конкретного массообменного технологического процесса. Это особенно актуально для улавливания сверхмалых концентраций извлекаемых из газов вредных компонентов (веществ), что часто встречается в экологических процессах и является очень острой проблемой.

Предложенная адаптивная гибкая система автоматизированного управления режимами работы массообменных аппаратов с упруго-деформируемыми насадочными блоками позволяет добиваться наивысших доступных показателей степеней очистки газовых выбросов при оптимальных энергетических затратах на осуществление массообменных процессов и возможности сгладить технологические, масштабные и другие факторы, свойственные конкретным массообменных процессам и конструкциям аппаратов. Следует отметить способность разработанной системы быстро и адаптивно реагировать на аварийные выбросы и резкие непредвиденные всплески концентраций извлекаемых вредных веществ в потоках сплошных газовых фаз. Разработанные системы и программы управления в сочетании с разработанными новыми конструкциями массообменных аппаратов позволят создавать адаптивные системы очистки газовых выбросов с возможностью эффективной работы в существенно более широких диапазонах расходов газовых потоков, жидких фаз и концентраций извлекаемых вредных компонентов, что делает разработанные системы не только высокоэффективными, но и универсальными.

Таким образом, формируется новое научное направление по разработке насадочных контактных устройств и конструкций массообменных аппаратов, позволяющих обеспечить устойчивый режим эмульгирования в достаточно широких для автоматизированного распознавания и поддержания диапазонах. Расчеты показывают, что работа массообменных аппаратов в режимах эмульгирования существенно сокращает объем насадочных блоков (до 40 %) [33, 34] по сравнению с типовыми колонными аппаратами, что делает массообменные системы менее инерционными, более компактными, гибкими и податливыми для автоматизированного управления гидродинамическими режимами. Кроме того, устойчивая работа массообменной системы в режиме инверсии фаз сопровождается высокими показателями удерживающих способностей по жидкой и газовой фазам, удовлетворяющими требованиям процессов абсорбции и дополняющими энерго- и ресурсосберегающий эффект с точки зрения расхода свежего абсорбента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Laptev A. G., Farakhov T. M., Afanas'ev E. P.* Comparative thermohydraulic efficiency of processes in channels with chaotic packing // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2018. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 853—858.

2. Efficiency of the Contact Stage of a Jet-Film Device During Rectification of Ethylbenzene-Styrene Mixture / A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev, A. N. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. Iss.7—8. C. 501—507.

3. *Farakhov T. M., Laptev A. G.* Modeling of processes of gas cooling by contact with a liquid and updating of column apparatuses // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. Iss. 3—4. Pp. 282—289.

4. *Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N.* Optimal Designing of Mass Transfer Apparatuses with Jet-Film Contact Devices // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. Iss.7—8. Pp. 430—434.

5. *Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Dmitrieva O. S.* Cleaning of industrial gases from aerosol particles in apparatus with jet-film interaction of phases // Ecology and Industry of Russia. 2018. Vol. 22. Iss. 6. Pp. 10—14.

6. *Laptev A. G., Farakhov T. M.* Mathematical model of mass transfer in randomly packed columns with phase maldistribution // Journal of Engineering Thermophysics. 2019. Vol. 28. Iss. 3. Pp. 392—399.

7. Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 52. Iss. 5—6. Pp. 299—304.

8. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А.* Экспериментальное исследование характеристик тепломассообменных насадочных устройств: учеб. пособие. Волгоград, 2018. 94 с.

9. *Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A.* The filtration equation for packing material // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. Iss. 1—2. Pp. 10—13.

10. Имитационное моделирование проточного фильтрования / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 140—149.

11. Система централизованного сбора, переработки и утилизации отработанных травильных и гальванических растворов и шламов / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, В. А. Балашов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 123—131.

12. *Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Меренцов Н. А.* Моделирование сорбционных процессов с учетом структуры потока. Волгоград, 2018. 128 с.

13. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А.* Моделирование тепломассообменных насадочных устройств с развитым капельным режимом течения. Волгоград, 2019. 140 с.

14. *Дмитриев А. В., Мадышев И. Н., Дмитриева О. С.* Экспериментальное исследование гидравлических и тепломассообменных показателей наклонно-гофрированных контактных элементов оросителя градирни // Экология и промышленность России. 2020. Вып. 24(1). С. 4—8.

15. Численное исследование тепломассообмена в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами / И. Н. Мадышев, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, Л. Р. Аглиулова // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 6. С. 67—70.

16. Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Т. 51. № 5—6. С. 383—387.

17. *Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А.* Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 171—178.

18. Оценка пропускной способности безреагентной испарительной градирни со струйно-пленочными контактными элементами / А. В. Дмитриев, И. Н. Мадышев, А. И. Хафизова, О. С. Дмитриева // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 5(148). С. 902—910.

19. Разработка конструкции блока оросителя безреагентной испарительной градирни / И. Н. Мадышев, А. В. Дмитриев, А. И. Хафизова, О. С. Дмитриева // Актуальные проблемы в машиностроении. 2019. Т. 6. № 1—4. С. 162—167.

20. *Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А.* Моделирование и расчет вентиляторной градирни с проволочной насадкой и капельным орошением // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 10. С. 3—6.

21. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, И. А. Хижняков, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 80—87.

22. *Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A.* Modeling and analysis of a mechanical-draft cooling tower with wire packing and drip irrigation // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 48. Iss. 9—10. Pp. 595—601.

23. *Голованчиков А. Б., Балашов В. А., Меренцов Н. А.* Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2017. № 1. С. 8—10.

24. Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев. Волгоград, 2020. 188 с.

25. Автоматическое управление режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. С. Шилихин, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 124—135.

26. Автоматическое управление режимами работы насадочных аппаратов селективной очистки газовых выбросов / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Б. Голованчиков // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 2. С. 10—16.

27. Авторежимные насадочные колонны для пульсационной жидкостной экстракции / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, М. В. Топилин, А. Б. Голованчиков // Экологические системы и приборы. 2020. № 3. С. 3—14.

28. Modelling and Calculation of Industrial Absorber Equipped with Adjustable Sectioned Mass Exchange Packing / N. Merentsov, A. Persidskiy, V. Lebedev, M. Topilin, A. Golovanchikov // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. Pp. 560—573.

29. Оценка интенсивности развития турбулизации в тепломассообменных насадочных контактных устройствах для селективной очистки газовых выбросов и испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 245—254.

30. Совершенствование системе газоочистки производств стройматериалов за счет новой методики пусконаладочных работ промышленных насадок абсорберов / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, А. С. Гендлер, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 110—125.

31. Система автоматизированной калибровки технологических параметров электроадсорбционных аппаратов селективной очистки газовых выбросов / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, М. В. Топилин, А. Б. Голованчиков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2020. Т. 26. № 3. С. 371—387.

32. Система автоматизированного управления режимами работы электроадсорбционных аппаратов селективной очистки газовых выбросов / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, М. В. Топилин, А. Б. Голованчиков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2020. Т. 26. № 4. С. 513—528.

33. Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Г. Карасев, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.

34. *Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Качанов А. В*. Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 3. С. 24—29.

© Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Голованчиков А. Б., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Адаптивное управление режимами работы насадочных абсорберов систем газоочистки предприятий строительной индустрии / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, А. С. Гендлер, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 234—253.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Персидский Александр Владимирович — инженер-конструктор, ФНПЦ «Титан-Баррикады». Российская Федерация, 400071, г. Волгоград; a-persidsky@yandex.ru

Гендлер Александр Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28; pahp@vstu.ru

Nikolai A. Merentsov[a], Aleksandr V. Persidskii[b], Aleksandr S. Gendler[a], Aleksandr B. Golovanchikov[a]

[a] Volgograd State Technical University

[b] Titan-Barrikady

ADAPTIVE CONTROL OF THE OPERATION MODES OF PACKED ABSORBERS FOR GAS CLEANING SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists-candidates of Sciences MK-1287.2020.8 "Modeling of control processes in mass-exchange environmental and oil and gas processing equipment"

The system of adaptive automated control of operation modes of mass exchange apparatuses with elastically deformable packing blocks is considered on the basis of identification of bursts of inertial components of structure of filtration currents through layers of elastically deformable packing materials. Using the example of a packed absorption column for selective purification of gas emissions, the algorithm operation the system of automatic control of operation the mass exchange apparatus is described due to recognition of the hydromechanical mode of operation, introduction and retention of the apparatus in the optimal mode due to step-by-step volumetric deformation of the packing material block. The hydrodynamic mode of emulsification (phase inversion) has the highest values of degrees of mutual mixing of mass exchange products, is accompanied by high retention ability of packing blocks in liquid and gas phases, which corresponds to the accented requirements of the gas absorption process and is the guarantor of the highest available degrees of catching of molecules extracted from gas flows of components. Since the emulsification mode is a fairly narrow range of modes of operation of the mass transfer apparatus, it can be achieved and maintained only by automation means. The use of elastically deformable packing blocks allows to expand the range of volume flow rates of the gas phase and liquid absorbent, at which the emulsification mode can be achieved. The program of automatic control of mass-exchange system operation modes uses data obtained during automated calibration of process parameters of mass-exchange devices with elastically deformable packing blocks. Use of the presented control scheme makes the mass-exchange apparatus self-tuning, and the possibility of periodic repetition of the autocalibration process allows the apparatus to adapt to the parameters of the mass-exchange system changing during operation (contamination of the surfaces of the packing elements and residual deformation of the packing block). The mass exchange system is controlled during the current analysis of the initial and final concentrations of the collected substances in the flows of continuous gas phases. The program controls operating modes in wide ranges due to deformation of packing units, and control of the ratio of liquid and gas phase flow rates, which allows automatically ensuring the balance of the mass exchange system between the highest available indicators of the degrees of catching of molecules extracted from gas

flows of components and energy and resource saving, due to reduction of hydraulic resistance and reduction of consumption of pure absorbent.

K e y w o r d s: mass transfer, heat transfer, packing material, hydrodynamics, gas dynamics, filtration flows, absorption, rectification, purification of gas emissions, turbulization index.

For citation:

Merentsov N. A., Persidskii A. V., Gendler A. S., Golovanchikov A. B. [Adaptive control of the operation modes of packed absorbers for gas cleaning systems in the construction industry]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 234—253.

About authors:

Nikolai A. Merentsov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Aleksandr V. Persidskii — Design Engineer, Titan-Barrikady. Volgograd, 400071, Russian Federation; a-persidsky@yandex.ru

Aleksandr S. Gendler — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Aleksandr B. Golovanchikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; pahp@vstu.ru

УДК 697.7

С. Н. Торгашина, Т. Б. Гадаборшева, Е. А. Чорнобай, В. Д. Косовцев

Волгоградский государственный технический университет

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

По мнению авторов статьи, продуктивность использования солнечных систем в природно-погодных условиях Волгоградской области обязана определяться оптимизацией технологических действий по утилизированию солнечной энергии, которые основаны на трех наиболее важных биоклиматических принципах: накопление, распределение и сохранение солнечной энергии. Эти принципы диктуют необходимость учета следующих параметров: ориентация застекленных пространств, угол наклона светопрозрачного покрытия, теплоаккумулирующие возможности внутреннего размера застекленного места.

К л ю ч е в ы е с л о в а: солнечное излучение, суммарная солнечная радиация, угол наклона светопрозрачного покрытия, солнечный коллектор, преобразования энергии, поверхность коллектора, аккумулирующая поверхность.

Проблема использования возобновляемой энергии связана с характерно низкой плотностью концентрации устройств, ее вырабатывающих. Кроме того, возникает необходимость преобразования энергии для этих видов ресурсов. Конечно же, на сегодняшний день имеется множество путей ее решения. Один из этих путей — объединение в один энергокомплекс энергоустановок, использующих несколько различных по характеру **возобновляемых источников энергии** (ВИЭ). Такое совмещение дает возможность выравнивать график вырабатываемой энергии и на длительных, и на коротких временных интервалах. Для эффективной работы такого энергокомплекса, в котором первичные энергетические источники являются не регулируемыми человеком, необходимо стремиться к согласованию производства и потребления получаемой энергии. Это является основополагающей особенностью проектирования энергетических комплексов на основе возобновляющихся источников энергии по сравнению с традиционными видами электростанций.

Эффективность выбора систем солнечного энергоснабжения определяется комплексом физических характеристик солнечного излучения. Для технических расчетов пользуются среднегодовыми показателями, из которых выводятся средние величины для каждого часа дня и месяца.

Эти величины определяются отдельно для горизонтальных и различным образом ориентированных вертикальных поверхностей. Пользуясь такими данными, можно получить соответствующие значения эффекта радиации для каждого часа дня.

Для определения практической ценности данных измерения солнечной радиации применяется много приемов, при этом любой из них обладает определенным уровнем приближения. Первый —это усреднение показателя солнечного излучения, к примеру за месяц, который позволяет всесторонне изучить среднюю продуктивность процесса, но он чреват некорректностью в связи с тем, что продуктивность процесса нелинейно зависит от солнечной радиации [1].

Второй прием заключается в применении предварительно полученных дневных либо часовых характеристик измерений солнечной радиации в данной местности для оценки подразумеваемой эффективности процесса. Следовательно, это направление является главным аспектом при моделировании процесса [1].

Третий формируется в обработке данных измерений солнечной радиации методами статистики для представления их в более удобном положении и в использовании обобщающих временных распределений для определения продуктивности результата преобразования энергии [1].

В подавляющем числе случаев измерения сводятся к определению при помощи пиргелиометра интенсивности потока суммарной солнечной радиации, которая характеризуется единицей энергии, поступающей в единицу времени на единицу горизонтально расположенной поверхности.

Имеется много средств повышения плотности потока радиации на принимающую поверхность. Эти средства могут быть квалифицированы как отражатели и линзы по степени сосредоточения радиации, по типам компоновки и ориентации систем, по конструктивным материалам либо по назначению.

Солнечные коллекторы поглощают как рассеянную, так и прямую составляющие солнечной радиации. Нужна формула отношения потока радиации, падающего по нормали на наклонную поверхность, к соответственному сгустку радиации, падающему на горизонтальную поверхность. Это выстраивание зависит отчасти от скопления облаков, а также от пространственного распределения и количества остальных входящих в состав атмосферы компонентов, которые определяют рассеяние. Кроме того, незначительное количество солнечной радиации может отражаться от поверхности Земли и, соответственно, скапливаться на поверхности коллектора. При определении угловой корректировки для рассеянной составляющей радиации могут быть рассмотрены два максимальных варианта [2].

То есть надо предполагать, что существенная часть рассеянной радиации передается от кажущегося источника вблизи Солнца, а именно рассеяние солнечной радиации в значительной мере может быть ориентированным. Это утверждение является весьма приемлемым для солнечных дней, и в этой ситуации угловой поправочный коэффициент для рассеянной составляющей радиации по существу соответствует коэффициенту для прямой составляющей.

Также можно представить, что распределение рассеянной радиации по небосклону идентично. Данный случай в какой-то степени вероятен, когда, к примеру, небо умеренно покрыто тучами, либо при сплошной туманности. Тогда поток рассеянной радиации на негоризонтально направленной поверхности конкретно зависит от того, куда нацелен приемник. В ситуации, когда земная либо остальные поверхности, которые отражают солнечную радиацию на поверхность коллектора, являются источником рассеянной радиации, равнозначным небосклону, поступление рассеянной радиации на исследуемую поверхность будет одинаково независимо от ее ориентации. При этом допущении поправочный показатель для рассеянной радиации постоянно будет равен единице.

На основании изложенного для работы системы солнечного теплоснабжения необходимо устанавливать солнечный коллектор с ориентацией остекления в южном направлении, под регулируемым углом наклона к горизонту α, выбранном на основании расчета системы солнечного теплоснабжения. Поэтому с целью выявления поступающей энергетической мощности были произведены замеры в г. Волгограде с марта по октябрь в течении суток с 7:00 до 19:00 ч. Измеренные величины сведены в табл.

Результаты измерений солнечной радиации

Месяц	Мощность радиации, Вт/м^2	
	Угол наклона к горизонту 33°	Угол наклона к горизонту 45°
Апрель	654,6	517,4
Май	753,8	648,2
Июнь	798,2	670,7
Июль	755,2	620,8
Август	508,3	417,9
Сентябрь	542,5	439,9
Октябрь	569,1	454,6

На основании экспериментальных данных установлено, что в летний период года большую часть солнечной энергии получают горизонтальные поверхности здания, эффективным местом размещения плоских солнечных коллекторов в условиях Волгограда (48° с. ш.) является южный скат кровли, имеющий уклон к горизонтальной поверхности 33°. При этом оборудование располагают в чердачном пространстве, что обеспечивает существенную экономию при организации подобных систем. В свою очередь, аккумулятор должен принимать и отдавать энергию с наибольшей частотой. Солнечные коллекторы также могут использоваться как отдельно стоящие блоки, установленные под углом 33° к горизонтальной поверхности крыши. Однако в этом случае сопутствующее оборудование располагают в подвальном пространстве жилого здания [3].

При проведении исследований методами планирования эксперимента на основании проведенного с позиции вероятностно-стохастического подхода теоретического анализа в качестве варьируемых факторов были выбраны следующие величины: $E_к$ — средняя мощность радиации, Вт/м^2; N — количество остеклений, шт.; D — диаметр трубок в коллекторе, мм.

Как видно из рисунка 1, при трех слоях покрытия температура воды на выходе из коллектора практически не зависит от температуры окружающей среды. Поэтому большее количество слоев покрытий устанавливать нецелесообразно.

Из рисунка 2 видно, что температура воды на выходе из коллектора уменьшается при увеличении диаметра труб. Это связано с увеличением расхода теплоносителя и, следовательно, более интенсивным снятием тепла с поглощающей пластины. При этом происходит уменьшение потерь тепла в окружающую среду, поскольку средняя температура коллектора уменьшается [4].

При бесконечном увеличении расхода разность температур на входе и выходе из коллектора стремится к нулю, однако температура поглощающей поверхности всегда будет выше температуры жидкости.

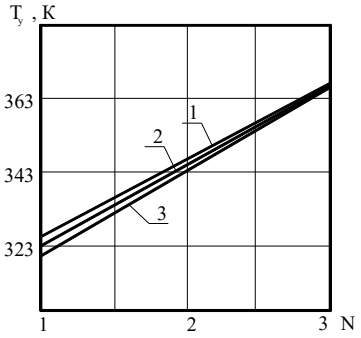


Рис. 1. График зависимости температуры воды на выходе из коллектора T_y, К, от числа покрытий N

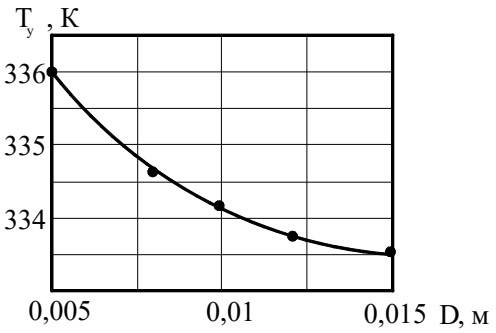


Рис. 2. График зависимости температуры воды на выходе из коллектора T_y от диаметра трубок D в коллекторе

На рисунке 3 показан график зависимости температуры воды на выходе из коллектора T_y от расстояния W между трубами коллектора.

Анализ этого графика позволяет сделать вывод о несущественном влиянии расстояния между трубами коллектора на температуру воды на выходе из коллектора.

Современные солнечные коллекторы, выпускаемые в различных странах мира, имеют множество модификаций. Наиболее простыми в изготовлении и эксплуатации при низкой стоимости являются плоские коллекторы. Их основные технические параметры — температура поглощающей пластины и воды на выходе, тепло, передаваемое воде. Они зависят от концентрации теплоприемника, его ориентации на солнце, числа покрытий, скорости окружающей среды и других факторов.

С целью определения их взаимного влияния проводился анализ расчетов, который показал, что с увеличением диаметра уменьшается температура на выходе из солнцеприемника при одной и той же скорости за счет увеличения площади сечения и связанного с ней расхода теплоносителя, так как мощность радиации остается постоянной, при этом скорость движения теплоносителя очень сильно влияет на выходной потенциал. Максимальный его рост наблюдается при отсутствии течения, а при экстремальной скорости он остается постоянным и минимальным для любого диаметра труб (рис. 4, 5).

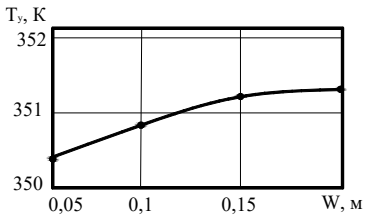


Рис. 3. График зависимости температуры воды на выходе из коллектора T_y от расстояния W между трубами коллектора

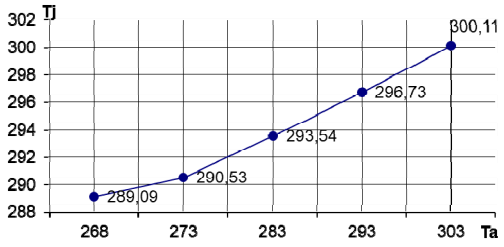


Рис. 4. Изменение зависимости температуры теплоносителя на выходе из коллектора от температуры окружающей среды при скорости 0,02 м/с

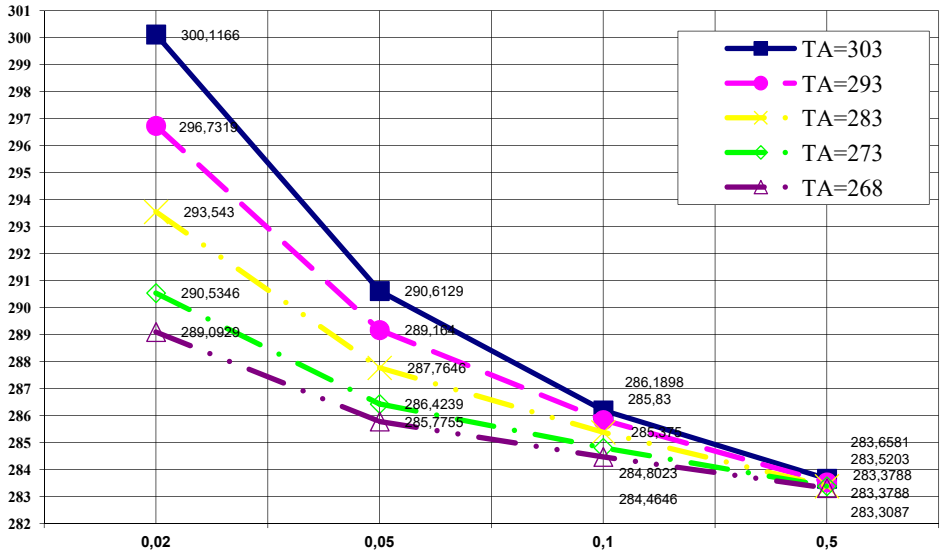


Рис. 5. Изменение температуры теплоносителя на выходе из коллектора при различных температурах окружающей среды

Рассмотренные закономерности позволяют сделать вывод: для оптимизации процесса необходимо уменьшить диаметры труб и скорость теплоносителя. Такой вариант возможен при вынужденной циркуляции. При естественной циркуляции располагаемого напора может быть недостаточно для преодоления гидравлического сопротивления. Наиболее эффективный способ — подача теплоносителя пропусками. В этом случае возникает необходимость вычислять время нагрева каждой порции с учетом предварительного разогрева всей системы. Игнорирование данного положения может привести к резкому сокращению производительности солнечной установки в целом. При наличии автоматического регулирования последний вариант даст наиболее эффективный результат в тепловом и экономическом отношении по сравнению со всеми вышеперечисленными [4].

Воздействие значительного числа термических характеристик на работу плоских солнечных коллекторов принуждает заострить внимание на исследовании действий в системе «излучение — тепловой носитель», в которой значительную роль играют конструкция и разработка производства некоторых частей в системе обеспечения теплом. Также нужно обратить внимание на практические требования строительной светотехники, обеспечение зрительной связи дома с окружающей средой и возможность внедрения обычных конструкций.

Применение обособленно стоящих коллекторов может быть эффективно и экономически прибыльно лишь в том случае, когда большая площадь аккумулирующей поверхности сочетается с сезонным хранилищем тепла, позволяя использовать подогретую в летний период года воду для потребностей в межсезонный период — осень. Размещение отдельно стоящих коллекторов было бы эффективно на неудобных для организации жилой застройки территориях, к примеру, на южных склонах оврагов и балок, вдоль транспортной магистрали, где вытянувшиеся вдоль проезжей части коллекторы могли бы выполнять функции шумозащитного экрана. При обособленном расположе-

нии коллекторов возникает больше возможностей в выборе конструкции строения и сохранении обычных по внешнему облику форм построек.

В числе почти всех доступных методов использования солнечной энергии два являются более подходящими для использования в области архитектуры. В соответствии с первым способом солнечная энергия поглощается солнечным коллектором и употребляется для нагрева воды (или другой жидкости), которая потом может использоваться либо непосредственно для домашних потребностей или отопления, либо для охлаждения. Согласно другому способу солнечная энергия усваивается конкретно конструкцией строения и, таким образом, используется лишь с целью отопления помещений. Оба метода основаны на том, что стекло пропускает коротковолновое излучение, а длинноволновое не пропускает. Разработка солнечных коллекторов — это технология отопления, тогда как второй метод, использующий парниковый эффект, в большей степени затрагивает принципы архитектуры.

В итоге задействование солнечной энергии является одним из наиболее продвигаемых направлений потребления возобновляемых источников энергии. Солнечные водонагревательные установки обладают минимальным сроком окупаемости из всех видов возобновляемых источников энергии. Авторы считают, что они технологически несложны и обеспечивают отличные экологические характеристики.

Архитектура солнечных построек отражает сущность научных мыслей из области гелиотехники. Для строения принципиальна его ориентация. По тем же причинам имеют большое значение соотношения его длины, высоты и ширины. Здание оптимальной формы отдает в окружающую среду минимальное количество тепла и получает максимум тепла от Солнца зимой.

Архитектурная выразительность, как правило, сочетается с конструктивным совершенством, с экономической, экологической и социальной сторонами градостроительной деятельности. При этом «энергетическая активизация» конструкций, элементов или здания в целом должна конкретно отражаться на эксплуатационном топливно-энергетическом балансе здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Даффи Дж. А., Бекман У. А.* Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 420 с.

2. *Рассел Дж.* Солнечная энергетика . М.: VSD, 2012. 208 с.

3. *Торгашина С. Н.* Анализ эффективности работы солнечных водонагревательных систем для г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-стриотельного университета. Сер. Технические науки. 2005. Вып. 5(16). С. 53—56.

4. *Торгашина С. Н.* Определение условий оптимизации конструктивно-технологических параметров солнечных коллекторов систем теплоснабжения для нужд горячего водоснабжения: дисс. … канд. техн. наук. Волгоград, 2006.

© Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Чорнобай Е. А., Косовцев В. Д., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Теплотехнические характеристики солнечных систем применительно к Волгоградской области / С. Н. Торгашина, Т. Б. Гадаборшева, Е. А. Чорнобай, В. Д. Косовцев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 254—260.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Гадаборшева Тамара Бимбулатовна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Чорнобай Ева Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; evakoroleva13@yandex.ru

Косовцев Вадим Дмитриевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Vadim.kosovvv@mail.ru

Svetlana N. Torgashina, Tamara B. Gadaborsheva, Eva A. Chornobay, Vadim D. Kosovtsev

Volgograd State Technical University

THERMAL CHARACTERISTICS OF SOLAR SYSTEMS APPLICABLE TO THE VOLGOGRAD REGION

According to the authors of the article, the productivity of the use of solar systems in the natural-weather criteria of the Volgograd region must be determined by optimizing technological actions to dispose of solar energy, which are based on 3 of the most important bioclimatic principles: the accumulation, distribution and preservation of solar energy. These principles are the basis for taking into account the following reasons: the orientation of glazed spaces; the angle of inclination of the translucent coating; heat storage capabilities of internal size of glazed space.

K e y w o r d s: solar radiation, total solar radiation, angle of inclination of translucent coating, solar collector, energy transformations, collector surface, accumulating surface.

For citation:

Torgashina S. N., Gadaborsheva T. B., Chornobay E. A., Kosovtsev V. D. [Thermal characteristics of solar systems applicable to the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 254—260.

About authors:

Svetlana N. Torgashina — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Tamara B. Gadaborsheva — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Eva A. Chornobay — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; evakoroleva13@yandex.ru

Vadim D. Kosovtsev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Vadim.kosovvv@mail.ru

УДК 744+378.147

Н. Ю. Ермилова, И. Е. Степанова, О. Н. Маринина, О. В. Проценко

Волгоградский государственный технический университет

ГРАФИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрены особенности изучения дисциплин графического профиля в условиях дистанционного режима. Показана структура и содержание разработанных в электронной информационной образовательной среде (ЭИОС) онлайн-курсов по дисциплинам графического цикла. Приведен анализ опроса студентов, направленный на выяснение их мнения об использовании в ЭИОС онлайн-курсов по графическим дисциплинам.

К л ю ч е в ы е с л о в а: графические дисциплины, дистанционная форма обучения, электронная информационная образовательная среда (ЭИОС), онлайн-курс по дисциплинам графического профиля.

Появление коронавирусной инфекции (COVID-19) в России с начала 2020 г. внесло свои коррективы в систему высшего профессионального образования. В целях нераспространения новой инфекции, а также сохранения жизни и здоровья приказом Минобрнауки России от 28.01.2020 № 63 «Об организации образовательного процесса в образовательных организациях высшего образования с учетом рисков распространения новой коронавирусной инфекции» студенты вузов были переведены на дистанционную форму обучения.

В общепринятом смысле под дистанционным обучением понимают образовательный процесс опосредованного (удаленного) взаимодействия субъектов этого процесса, предусматривающий применение информационных и телекоммуникационных технологий и базирующийся на общедидактическом принципе самостоятельности освоения изучаемого материала. Дистанционное обучение как многогранное явление исследуется достаточно давно. Многие отечественные ученые внесли весомый вклад в развитие теории и практики дистанционного обучения: А. А. Андреев, Ю. Н. Афанасьев, А. В. Барабанщиков, В. В. Вержбицкий, Ю. Н. Демин, М. П. Карпенко, А. О. Кривошеев, С. Л. Лобачев, А. Д. Иванников, Е. С. Полат, В. А. Садовничий, В. И. Солдаткин, В. П. Тихомиров, А. В. Хуторской и др. Большая научная и практическая работа в области исследования проблемы проводится также и за рубежом: Дж. Боат, А. Ведемеер, Дж. Даниель, Р. Деллинг, Д. Киган, М. Мур, О. Петерс, К. Смит, Б. Холмберг и др. [1—7]. Исследователи отмечают, что процесс развития дистанционного обучения в России сдерживается традиционными для нее причинами: отсутствием хорошего материально-технического обеспечения, дефицитом компьютерной техники, ограниченными возможностями связи, низким материальным стимулированием преподавателей. К минусам дистанционного обучения также относят: отсутствие очного общения между преподавателем и студентами (индивидуальный подход к воспитанию и обучению, эмоционально-ценностное восприятие изучаемого материала), а также между студентами

(социализация личности, реализация групповых проектов и заданий); идентификация личности студента (выполнение учебных заданий несамостоятельно, другими лицами); недостаточность жесткой самодисциплины и ответственности (самостоятельность, сознательность, самоконтроль обучающихся); отсутствие лабораторных занятий. Приводятся и положительные свойства: обучение в индивидуальном плане (выбор скорости изучения учебного материала в зависимости от личных обстоятельств и потребностей); свобода и гибкость (самостоятельное планирование времени, места и продолжительности своих занятий); доступность (независимость от географического и временного положения); мобильность (наличие обратной связи между преподавателем и студентом); технологичность (использование в образовательном процессе информационных и телекоммуникационных систем и технологий); социальное равенство (равные возможности получения образования независимо от места проживания, состояния здоровья, элитарности и материальной обеспеченности); творчество (комфортные условия для творческого самовыражения и самореализации личности) [8—11].

Объявление COVID-19 пандемией и введение в образовательных учреждениях страны карантина стало нелегким испытанием для российской системы дистанционного обучения студентов. Надо отметить, что большинство вузов сработали на опережение. Так, в ВолгГТУ средствами LMS Moodle была реализована электронная информационная образовательная среда (ЭИОС), в рамках которой посредством дистанционных образовательных технологий полноценно осуществлялась образовательная деятельность. Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) — модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда, которая представляет собой автоматизированную систему, основанную на компьютерных и интернет-технологиях и предназначенную для организации взаимодействия между преподавателем и студентами. Moodle является веб-приложением, расположенным на сервере, и доступ к нему осуществляется через любой веб-браузер, что делает ее удобной для участников образовательного процесса. Данное приложение можно применять как с системой Windows, так и другими с пакетами программного обеспечения, такими как Linux, Ubuntu, OpenOffifice.org и др. Реализованная на базе Moodle электронная информационная образовательная среда вуза в соответствии с требованиями ФГОС ВО обеспечивает:

– доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах;

– фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения программы бакалавриата;

– проведение всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;

– формирование электронного портфолио студента, в том числе сохранение его работ, рецензий и оценок на эти работы со стороны любых участников образовательного процесса;

– взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействие посредством сети Интернет[1] [12—13].

Кроме этого, электронная информационная образовательная среда предоставляет возможности совершенствования образовательного процесса по изучаемым дисциплинам:

– размещение образовательного контента дисциплины в сети Интернет вуза, регистрация пользователей, назначение им ролей и предоставление прав администрирования;

– построение электронной структурной модели образовательного процесса по дисциплине;

– разработку информационного контента по дисциплине: лекции, учебно-методические пособия, методические указания, указания и рекомендации по изучению курса, дополнительные учебные материалы, вопросы к экзаменам, тесты, мультимедийный контент;

– активность студентов: участие в чатах, выполнение практических и творческих заданий, обратная связь с преподавателем в форме онлайн-консультации или форума;

– контрольные мероприятия в виде тестового контроля знаний, а также заданий, требующих проверки преподавателем;

– средства анализа активности пользователей и результатов учебной деятельности в курсе: отчеты о деятельности участников, анализ результатов контрольных мероприятий по группам, формирование и распечатка ведомостей, отчетов в форматах Microsoft Word, Microsoft Exel и т. д. [14].

С использованием ЭИОС согласно учебным планам, рабочим программам дисциплин и контингенту вуза, а также с применением предложенного шаблона (разработчик — зав. сектором нормативно-методического обеспечения образовательной деятельности УМУ ВолгГТУ Е. Д. Беришева) и методических указаний по работе в ЭИОС университета[2] были разработаны онлайн-курсы, а также загружен весь теоретический и практический учебный материал, необходимый для освоения изучаемых дисциплин. Это сделано было в том числе и для дисциплин графического профиля.

Графические дисциплины относят к наиболее сложным, трудным для понимания и освоения. Именно эти дисциплины лежат в основе формирования и развития пространственного геометрического мышления — способности личности, необходимой для конструкторской и технологической деятельности. Известно, что инженерное творчество немыслимо без знания законов, связывающих пространственную форму и ее плоское изображение. Этим обусловлены значение и роль графических дисциплин в формировании личности будущего инженера. Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика изучаются студентами на первом курсе. Для освоения этих дисциплин необходимо знание основ

[1]Письмо Министерства образования и науки РФ от 20 августа 2014 г. № АК-2612/05 «О федеральных государственных образовательных стандартах». URL: https:// www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70631470/.

[2]Методические рекомендации по работе в ЭИОС университета. Версия 1.0., 21.03.2020. URL: http://eos.vstu.ru/pluginfile.php/275755/mod_resource/content/4/1%20Методические%20 рекомендации%20ЭИОС%20ВОЛГГТУ.pdf.

геометрии и черчения, изучаемых в общеобразовательных учреждениях (школах, лицеях, гимназиях). В связи с этим вводится ряд требований к «входным» знаниям, умениям и навыкам студентов. Студент должен знать: основные понятия, наиболее важные теоремы, аксиомы, правила, формулы, выводы и соотношения геометрии; элементы тригонометрии; правила оформления и построения чертежей. Студент должен уметь: выполнять простейшие геометрические построения, представлять форму предметов и их взаимное положение в пространстве. Студент должен владеть навыками использования измерительных и чертежных инструментов для выполнения построений на чертеже. Однако в реальности отмечается слабая геометрическая и графическая подготовка выпускников общеобразовательных учреждений, что значительно осложняет изучение дисциплин графического профиля студентами первого курса [15, 16]. Данная ситуация наиболее остро проявилась в условиях карантина при удаленном формате обучения [17, 18].

Для успешного освоения графических дисциплин в режиме онлайн, а также повышения эффективности и качества образовательного процесса в период карантина преподавателями кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии ИАиС ВолгГТУ были разработаны онлайн-курсы дисциплин по основным направлениям подготовки бакалавриата. К данным курсам были подключены зарегистрированные в ЭИОС студенты, получившие, таким образом, полноценный беспрепятственный доступ ко всем учебно-методическим материалам в любое удобное для них время. Онлайн-курсы вмещали в себя:

– учебно-методическую литературу, необходимую для изучения дисциплины и выполнения семестровых расчетно-графических работ (РГР);

– авторский лекционный материал по всем разделам и темам дисциплины, содержащий теоретические аспекты (правила, аксиомы, теоремы и т. д.) и примеры решения графических задач;

– практический материал (практические занятия), предназначенный для выполнения семестровых РГР, содержащий указания по выполнению и примеры с поэтапным построением;

– практические задания для самостоятельной работы (варианты заданий для выполнения РГР);

– образцы чертежей РГР. Например, для освоения дисциплины в 1-м семестре созданы PDF-файлы, демонстрирующие поэтапное решение задач РГР «Проекции геометрических тел с вырезом» (призма, пирамида, цилиндр, конус), РГР «Сечение геометрических тел плоскостью» (сечение призмы, пирамиды, цилиндра и конуса плоскостями общего положения; также приведены примеры поэтапного решения задач на пересечение поверхности прямой линией), РГР «Взаимное пересечение поверхностей», РГР «Проекции с числовыми отметками». Кроме этого дано поэтапное построение разверток геометрических тел, что, несомненно, облегчает понимание студентами принципов решения графических задач. Для освоения дисциплины во 2-м семестре разработаны и размещены на курсах PDF-файлы с поэтапным выполнением РГР «Болтовое соединение» и др.;

– учебный материал (лабораторные работы), предназначенный для выполнения работ по компьютерной графике в графическом пакете AutoCAD;

– учебные элементы «Задание», позволяющие преподавателям собирать расчетно-графические работы по каждой теме дисциплин, оценивать их и

предоставлять комментарии (отзывы). При оценивании задания преподаватели могли загружать файл с исправленным ответом студента. Ответы оценивались баллами. Итоговая оценка заносилась в Журнал оценок;

– учебный элемент «Экзаменационные работы», предназначенный для сбора и оценивания экзаменационных работ, выполненных студентами во время сессии.

Для прямой связи с обучаемыми на курсах был создан модуль «Объявления», в котором информация передавалась от преподавателя студентам. Но для того чтобы и студенты могли задавать вопросы и темы для обсуждения и консультаций (обратная связь), на курсах был создан модуль «Чат» («Консультации онлайн»), который позволял участникам образовательного процесса общаться в асинхронном режиме, т. е. в течение длительного времени. Также для взаимодействия и передачи информации были задействованы «Сообщения» через личный кабинет ЭИОС и другие информационные ресурсы: Skype, WhatsApp, электронная почта, мобильная связь. Для исправления ошибок и недочетов в чертежах, присылаемых студентами в качестве ответов на задания курса, преподаватели кафедры ИГСиМ активно использовали программу Paint.

В целях изучения мнения студентов об использовании в ЭИОС онлайн-курсов по дисциплинам графического цикла преподавателями кафедры ИГСиМ ИАиС ВолгГТУ был проведен письменный опрос. В данном мероприятии приняли участие студенты первого курса направления подготовки «Строительство», «Техносферная безопасность», «Морские и нефтяные сооружения» в количестве 80 человек. Опрос осуществлялся в очном режиме и носил анонимный характер.

Приведем содержание вопросов и анализ полученных результатов.

Вопрос-ответ	%
Ваше отношение к обучению в дистанционном режиме. Назовите положительные и отрицательные стороны: (вопрос имел форму множественного выбора)	
Среди ***плюсов*** дистанционного обучения респондентами были названы:	
больше свободного времени и не надо рано вставать. Свободный график и больше времени на выполнение домашнего задания и изучение лекций	43
возможность работать дома в комфортной обстановке	35
возможность экономить время на поездку до места обучения	45
преподаватели всегда выкладывали нужную информацию и всегда были готовы помочь в случае неразберихи. Индивидуальный подход преподавателя к каждому студенту	11
возможность работать самостоятельно. Самодисциплина	2
плюсов нет	5
К ***минусам*** дистанционного обучения опрашиваемые отнесли:	
потребовалось время, чтобы привыкнуть к новому режиму обучения. Очное обучение интереснее, чем дистанционное	13
приходилось разбираться с учебным материалом самостоятельно	45
отсутствие «живого» общения с преподавателем	44
возникали технические неполадки с Интернетом	13
влияние на здоровье. Усталость от долгой работы за компьютером	6

минусов нет	6
Возникали ли у вас трудности при работе в ЭИОС?	
да	40
нет. Все понятно и удобно	60
Свои трудности при работе в ЭИОС студенты охарактеризовали следующим образом:	
не было навыков работы в ЭИОС	19
ЭИОС не имеет оповещений (уведомлений), о некоторых заданиях узнавал от одногруппников	5
маленький объем загружаемых файлов	4
ошибки с входом в систему, некорректная работа сайта, неудобный интерфейс, трудности с подключением к онлайн-чату, нет доступа к личному кабинету	12
Возникали ли у вас трудности при выполнении расчетно-графических работ в дистанционном режиме?	
да	51
нет. Все понятно и доступно	49
К трудностям при выполнении расчетно-графических работ в дистанционном режиме респонденты отнесли:	
сложно разбираться самому без помощи и объяснений преподавателя	43
лучше работать напрямую с преподавателем, чем через систему ЭИОС	5
материал усваивается хуже, требовалась частая консультация с преподавателем	3
Оказал ли разработанный в ЭИОС онлайн-курс по графической дисциплине помощь при выполнении РГР?	
да	95
нет. Без объяснений преподавателя сложно разобраться самому	5
Наиболее характерные ответы:	
курс в ЭИОС оказал помощь при выполнении всех РГР, так как содержит последовательность, порядок и поэтапное выполнение работ, облегчая их построение. Материал был разложен по определенным темам и достаточно наполнен. Примеры выполнения заданий были понятны	86
да, оказал, но было бы лучше без дистанционного обучения. Но без курса в ЭИОС было бы еще труднее	4
да, там есть необходимый учебный материал и примеры, но работа с преподавателем является приоритетной	5
Удобно ли использование онлайн-курса по графической дисциплине в ЭИОС во время очного обучения?	
да	89
нет	11
Наиболее характерные положительные ответы:	
как дополнительный источник информации курс в ЭИОС использовать удобно	5
курс составлен грамотно. На курсе всегда есть необходимая информация и учебный материал по каждой теме, который можно повторить. Дано поэтапное выполнение РГР, есть все для самостоятельной работы	84
Среди отрицательных ответов:	
нестабильная работа системы. ЭИОС постоянно выходит из аккаунта, особенно на телефоне. Приходится часто перезаходить	4
не применяю, так как неудобно работать и без объяснений преподавателя сложно разобраться самому	7

Анализ опроса студентов первого курса показал, что большинство респондентов положительно относятся к обучению в условиях дистанционного формата. Они успешно справились с работой в ЭИОС в период карантина, у них не возникало особых затруднений при изучении в дистанционном режиме графических дисциплин и выполнении РГР, и они готовы эффективно использовать в традиционном (очном) формате обучения разработанный онлайн-курс при выполнении РГР. Таким образом, данная группа студентов активно демонстрировала достаточно высокий уровень компьютерной грамотности и владения современными компьютерными технологиями, а также навыки самостоятельной работы с учебным и методическим материалом. Тем не менее студенты этой группы отмечали, что хотели бы применять дистанционное обучение лишь как дополнительный источник учебно-методической информации к традиционному обучению. Живое общение с преподавателем и работа с ним непосредственно в аудитории является для них приоритетной и не сможет заменить обучение в удаленном формате.

Другая группа студентов по результатам опроса отрицательно отнеслась к обучению в условиях дистанционной формы. Им потребовалось достаточно длительное время, чтобы привыкнуть к новому режиму, многие с трудом справлялись с работой в ЭИОС. У таких студентов возникали трудности при изучении графических дисциплин и выполнении РГР, а разработанный онлайн-курс применяется ими в очном обучении исключительно чтобы найти задания и образцы выполнения РГР. Приходится констатировать, что у данной группы студентов присутствует невысокий уровень компьютерной грамотности, не развиты навыки самостоятельного изучения материала курса, низкая способность к самоорганизации и самодисциплине. В связи с этим, к сожалению, часть данной группы пополнила ряды студентов, имеющих задолженности по дисциплинам графического цикла. К ликвидации данных задолженностей они смогли вернуться только после выхода на очную форму обучения. Но другая часть студентов сумела справиться с проблемами, возникшими в ходе удаленного формата обучения, успешно пройти итоговую аттестацию по дисциплине, сохранив при этом свою отрицательную позицию по отношению к дистанционной форме обучения.

Графическая подготовка в условиях дистанционного формата потребовала усилий не только от студенческого контингента, но и от профессорско-преподавательского состава. Преподавателям кафедры ИГСиМ необходимо было не допустить срыва образовательного процесса и в кратчайшие сроки, разработать онлайн-курсы по изучаемым графическим дисциплинам, заполнить их необходимым учебно-методическим материалом, пошаговыми указаниями, рекомендациями, руководствами и поэтапным выполнением всех семестровых РГР; попутно приобретать практические навыки работы в ЭИОС и умения применять информационные и телекоммуникационные дистанционные технологии. На их плечи легла также ответственность за «своих» студентов, беспокойство за их эмоционально-психологическое состояние и способность работать в этой стрессовой ситуации. Надо отметить, что в целом преподаватели кафедры справились с возникшими трудностями и смогли мобилизовать студентов для работы в новых условиях.

В заключение отметим, что переход на дистанционную форму обучения в период карантина выявил ряд проблем и определил круг задач ближайшей перспективы:

– привести в соответствие с требованиями «Шаблона курса для ВолгГТУ и ИАиС» (Е.Д. Беришева) разработанные в ЭИОС онлайн-курсы по графическим дисциплинам;

– своевременно систематизировать и актуализировать учебно-методическое обеспечение образовательного процесса в ЭИОС. Разработать качественный электронный контент и интерактивные дидактические материалы по дисциплинам графического профиля;

– повысить эффективность освоения графических дисциплин на основе применения современных дистанционных технологий (вебинар, видеолекция, кейс-технология и т. д.), средств виртуальной визуализации (виртуальная интерактивная доска и др.) и интерактивного контента;

– рекомендовать обязательное обучение, особенно студентов первого курса, работе в ЭИОС. Мотивировать повышение уровня их компьютерной грамотности, самостоятельности, ответственности и самодисциплины при работе с технологиями дистанционного обучения;

– найти решение проблемы аутентификации личности студента при проверке его знаний (проведение промежуточной или итоговой аттестации);

– профессорско-преподавательскому составу кафедры пройти повышение квалификации по продуктивному использованию ЭИОС и современных дистанционных образовательных технологий;

– решить вопрос о сохранении авторского права созданных в ЭИОС продуктов интеллектуальной деятельности (электронных учебных курсов, пособий, указаний, руководств и пр.).

Решение поставленных задач является одним из приоритетных направлений работы преподавателей кафедры по совершенствованию процесса графической подготовки студентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Keegan D.* Reintegration of the teaching acts. In: Theoretical principles of distance education. L.; N. Y.: Routledge, 1993. Pp. 113—134.

2. *Daniel J. S.* World Trends in Higher Distance Education and Opportunities for International Cooperation. In: UNESCO, Higher Level Distance Education, pp. 17—42. Paris / Victoria (Australia), UNESCO/Deakin University, 1987.

3. *Holmberg B.* Theory and Practice of Distance Education. London, Routledge, 1989. URL: http://www.londoninternational.ac.uk/distance-flexible-learning.

4. *Moore M. G., Kersley G.* Distance education. A system View Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1996. Pp. 219—222.

5. *Peters O.* Die didaktische Struktur des Fernunterrichts // The DidacticalStructure of Distance Education: untersuchungen zu einer industrialisierten Form des Lehrens und Lernens. Weinheim: Beltz, 1973.

6. *Garrison R.* Theoretical challenges for distance education in the 21st century: A shift from structural to transactional issues // International Review of Research in Open and Distance Learning. 2000. № 1(1). Pp. 3—15.

7. Distance and flexible learning // University of London: International Programmes. London, 2012. URL: http://www.londoninternational.ac.uk/distance-flexible-learning.

8. *Андреев А. А.* Дидактические основы дистанционного обучения. М.: РАО, 1999. 120 с.

9. Дистанционное обучение в вузе / С. Н. Водолад, М. П. Зайковская, Т. В. Ковалева, Г. В. Савельева // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2010. № 1(13). С. 129—138.

10. *Дронова Е. Н.* Технологии дистанционного обучения в высшей школе: опыт и трудности использования // Преподаватель XXI век. 2018. № 3-1. С. 26—34.

11. *Землянухина Н. С.* Дистанционное высшее образование в России: проблемы и перспективы // Гуманитарный научный журнал. 2018. № 1-1. С. 10—13.

12. Электронная обучающая среда Moodle как эффективное средство организации обучения начертательной геометрии в условиях пандемии COVID-19 / С. А. Игнатьев, А. И. Фоломкин, З. О. Третьякова, К. О. Глазунов // Геометрия и графика. 2020. № 3. С. 52—66.

13. *Wang M., Chen Y., Khan M. J.* Mobile cloud learning for higher education: A case study of Moodle in the cloud // The International Review of Research in Open and Distributed Learning. 2014. Vol. 2, Iss. 15. DOI: 10.19173/irrodl.v15i2.1676.

14. *Буркова С. П., Винокурова Г. Ф., Долотова Р. Г.* Анализ использования электронного курса «Начертательная геометрия и инженерная графика» // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 3. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?Id =24536.

15. Совершенствование методики преподавания начертательной геометрии студентам архитектурно-строительных специальностей / Н. В. Мензелинцева, Н. Ю. Ермилова, О. Н. Маринина, О. В. Проценко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 583—594.

16. *Ермилова Н. Ю., Василенко В. А., Маринина О. Н.* Реализация принципа наглядности при изучении графических дисциплин в школе и вузе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 356—366.

17. *Тихонов-Бугров Д. Е., Абросимов С. Н.* Дистанционная любовь или обучение графическим дисциплинам в условиях пандемии // Геометрия и графика. 2020. № 3. С. 44—51.

18. *Турутина Т. Ф., Третьяков Д. В.* Оптимизация работы преподавателя высшей школы в процессе обучения будущих специалистов графическим дисциплинам: методический аспект // Известия ВГПУ. 2020. № 1(144). С. 35—40.

© Ермилова Н. Ю., Степанова И. Е., Маринина О. Н., Проценко О. В., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Графическая подготовка студентов в условиях дистанционной формы обучения / Н. Ю. Ермилова, И. Е. Степанова, О. Н. Маринина, О. В. Проценко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 261—270.

Об авторах:

Ермилова Наталья Юрьевна — канд. пед. наук, доц., доц. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; n.y.ermilova@yandex.ru

Степанова Ирина Евгеньевна — доц. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; legeza_ira@mail.ru

Маринина Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; day.meednight@gmail.com

Проценко Оксана Владимировна — старший преподаватель каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; gabble_may@mail.ru

Natal'ya Yu. Ermilova, Irina E. Stepanova, Ol'ga N. Marinina, Oksana V. Protsenko

Volgograd State Technical University

GRAPHIC TRAINING OF STUDENTS IN THE CONDITIONS OF DISTANCE LEARNING

The features of studying the disciplines of the graphic profile in the conditions of the remote mode are considered. The structure and content of the on-line courses developed in the EIOS in the disciplines of the graphic cycle are shown. The analysis of the survey of students aimed at finding out their opinion about the use of online courses in graphic disciplines in the EIOS is presented.

K e y w o r d s: graphic disciplines, distance learning, electronic information educational environment (EIOS), on-line course in graphic disciplines.

For citation:

Ermilova N. Yu., Stepanova I. E., Marinina O. N., Protsenko O. V. [Graphic training of students in the conditions of distance learning]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 3, pp. 261—270.

About authors:

Natal'ya Yu. Ermilova — Candidate of Pedagogic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n.y.ermilova@yandex.ru

Irina E. Stepanova — Docent of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; legeza_ira@mail.ru

Ol'ga N. Marinina — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; day.meednight@gmail.com

Oksana V. Protsenko — Senior Lecturer of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabble_may@mail.ru

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» ***включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.***

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-oformleniyu/), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-oformleniyu/), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале, а рецензия, кроме того, в отсканированном виде.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: ORCID, ScopusID (при наличии); *индекс УДК;* на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office* (*Word 2003*); шрифт *основного текста* — Times New Roman (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300…600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *баблиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке упо-

минания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска **серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).**

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ **http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia** (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а** (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна). vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу*:* 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ по адресу:
https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2021. Выпуск 3(84)

Корректор *Р. А. Жулите, М. Л. Манзюк*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 20.09.2021. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 12,0. Усл. печ. л. 23,8. Тираж 500 экз. Заказ № 127

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Типография ИАиС
Адрес издателя: 400005, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 28
Адрес типографии: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1