

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Строительство и архитектура

**Выпуск
21 (40)**

Научно-теоретический и производственно-практический
журнал

2011

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

ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ,
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Калашников С.Ю., Казначеева О.К., Бурцева О.А.** Алгоритмы оптимального оценивания состояния и внешних воздействий наблюдаемых конструкций 5
- Богомолов А.Н., Качурин Я.В., Богомолова О.А., Соловьев А.В.** Вычисление дополнительных осадок средней линии ленточного фундамента, вызываемых влиянием вновь возводимого параллельного сооружения 13
- Богомолов А.Н., Ушаков А.Н., Богомолова О.А.** Напряженно-деформированное состояние полуплоскости при сдвиге участка ее границы 19
- Богомолов А.Н., Фролов А.Ю., Цветков В.К.** Распределение напряжений в системе грунт — подпорная стенка 28
- Культербаев Х.П., Исламова О.В.** Вынужденные гармонические и случайные колебания струны, движущейся в продольном направлении 33
- Исламова О.В.** Случайные колебания мембран при разнотипных возмущениях 40
- Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г., Власов В.А.** Применение жидкого керамического утеплителя для улучшения теплофизических параметров участков существующих ограждающих конструкций 44

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

- Романов С.И., Стадник А.Ю.** Обоснование применения электроемкостного экспресс-метода для определения шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий 47
- Лукин А.В., Лукин В.А., Куликов А.В.** Обоснование оптимальной скорости движения транспортных потоков на УДС (на примере г. Волгограда) 53
- Скоробогатченко Д.А.** Модель для оценки эксплуатационного состояния автомобильных дорог с учетом информации качественного характера 60

Евтеева С.М. Срок службы горизонтальной дорожной разметки на асфальтобетонных покрытиях с шероховатой поверхностной обработкой	67
Корнеев А.Д., Борков П.В., Бондарев А.Б., Прозорова Л.А. Прогнозирование циклической долговечности полимербетонов в элементах конструкций транспортных сооружений	72
Казачкова Л.О., Алексиков С.В. Оценка энергозатрат транспорта с учетом дорожных условий и характеристик транспортного потока	78
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Баранникова О.Е., Надеева И.В. Комплексный подход к исследованию полимерного композита на основе техногенных отходов	82
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Шульженко С.Н. Использование методов программно-целевой технологии инженерной подготовки при организации комплексного ввода объектов	87
Томарева И.А. Оценка возможного числа пострадавших в результате аварийного разрыва газопровода при строительстве перехода инженерных сетей	91
Масляев А.В. Проблемы оценки контролирующими организациями сейсмической опасности для ряда объектов на территории Волгоградской области	95
МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ	
Рогожкин В.М., Ушаков Н.А. Метод расчета параметров защитного устройства для гидросистем строительных, дорожных и других гидрофицированных машин	102
Бурлаченко О.В., Бурлаченко Е.А. Повышение работоспособности гидро- и пневмоприводов грузоподъемных машин и оборудования	106
Орешкин В.Д., Луговая В.А., Лобанова Е.Т., Лукина И.Г. Износостойкие покрытия на основе карбоборидов титана на рабочие органы чугунных деталей	110
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Павлюков В.П., Фокин В.М., Бацура А.В. Автономная универсальная топливная печь-котел для обогрева помещений	115
Усадский Д.Г., Фокин В.М. Экспериментальное определение теплотехнических свойств и параметров парокапельного нагревателя в стационарном тепловом режиме	118
Ковылин А.В., Фокин В.М. Определение теплотехнических свойств оконного стекла для ограждений зданий	124
Мелькумов В.Н., Кузнецов С.Н., Гулак В.В. Динамика воздушных потоков и концентраций дымовых газов в сообщающихся помещениях при возникновении очага возгорания и действии вентиляции	128
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Голованчиков А.Б., Первакова Г.И., Бацокин И.С. Очистка высоковязких жидкостей в каскаде гидроциклонов	135
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА	
Шубин М.А., Шубин А.М. Эколого-экономические аспекты проблемы трубопроводной переброски части стока северных рек на юг	141
Латенко Д.В. Морфологические и морфометрические показатели оврагов побережья Цимлянского водохранилища	146
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	
Санжапов Б.Х., Садовникова Н.П. Согласование целей при эколого-экономическом обосновании градостроительного проекта с учетом ограничений на значения характеристик, входящих в систему средств, в условиях нечеткой информации	151
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА	
Абрамян С.Г. Количественная оценка влияния реконструкции и капитального ремонта линейно-протяженных сооружений на окружающую среду	160
НАШИ АВТОРЫ	166

C o n t e n s

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

Kalashnikov S.Yu., Kaznacheyeva O.K., Burtseva O.A. Algorithms of optimal state estimation and external actions of observed structures	5
Bogomolov A.N., Kachurin I.V., Bogomolova O.A., Solovjev A.V. Calculation of additional settlements of the strip-foundation mid line, which is the impact of the new-built parallel construction	13
Bogomolov A.N., Ushakov A.N., Bogomolova O.A. Strain-stress distribution of the half-plane in shear its surface area piece	19
Bogomolov A.N., Frolov A.Yu., Tsvetkov V.K. Stress pattern in the dirt — revetment wall	28
Kulterbaev H.P., Islamova O.V. Forced harmonic motion and random vibrations of the string moving to the longitudinal direction	33
Islamova O.V. Random vibrations of membranes with diverse dithering	40
Zhukov A.N., Perehzhencev A.G., Vlasov V.A. Application of the fluidic stoneware insulant to the improve thermophysical parameters of stretches of the existing main building envelope	44

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

Romanov S.I., Stadnik A.Yu. Rationale for the use electro-capacitance rapid method for the coarseness bituminous concrete pavements	47
Lukin A.V., Lukin V.A., Kulikov A.V. Substantiation optimum speed movement of transport streams on UDS (on the example of Volgograd)	53
Skorobogatchenko D.A. Model for the appraisal the state of repair of highways, taking into account the qualitative character information	60
Evtseva S.M. Working life of the horizontal traffic sign in asphalt coats with the chilled surface dressing	67
Korneev A.D., Borkov P.V., Bondarev A.B., Prozorova L.A. Forecasting of cyclic durability polymer-concrete in elements of designs of transport constructions	72
Kazachkova L.O., Aleksikov S.V. Estimate of transport energy demands iro road conditions and characteristics traffic stream	78

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Barannikova O.E., Nadeeva I.V. Complex approach to the study of the polymer composite based on the industrial waste	82
--	----

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION. LIFE SAFETY
END LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

Shulzhenko S.N. Usage of methods of the program-target technology of the engineering preparation to the organization of the complex input of objects	87
Tomareva I.A. Estimation of the possible number of injured of the damage blowout of gas pipeline by the building of the transition of the engineering networks	91
Maslyayev A.V. Valuation problems of the seismic hazard for objects of the Volgograd Region the control organization	95

MECHANIZATION AND AUTOMATION IN THE CONSTRUCTION. ROAD, CONSTRUCTION,
CARRYING AND LIFTING MACHINES

Rogozkin V.M., Ushakov N.A. Calculation method of the parameters safe guard for hydraulics of construction, road and others hydroficated machines	102
Burlachenko O.V., Burlachenko Ye.A. Performance incoordination of hydraulic and air drives of hoisting apparatus and outfitting	106
Oreshkin V.D., Lugovaya V.A., Lobanova E.T., Lukina I.G. Wear-resistant coating based on titanium karboboridov working bodies cast parts	110

HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION

Pavlyukov V.P., Fokin V.M., Bacyra A.V. Independent universal fuel boiler furnace for heating premises	115
Usadskiy D.G., Fokin V.M. Experimental study of thermotechnical parameters parokapel heater in the stationary thermal mode	118
Kovylin A.V., Fokin V.M. Definition thermal characteristics of the window glass for barriers buildings	124
Melkumov V.N., Kuznetsov S.N., Gulak V.V. Dynamics of air streams and concentrations of smoke gases in connected premises at origination of hotbed of fire and operation of ventilation	128

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Golovanchikov A.B., Pervakova G.I., Batsokin I.S. Clearing of high-viscosity liquids in the cascade of hydrocyclones	135
---	-----

HYDROTECHNICAL ENGINEERING. HYDRAULIC CONTROLS

Shubin M.A., Shubin A.M. Ecological and economic aspects of the pipeline diversion of the part flow of the northern rivers in the south 141

Latenko D.V. Morphological and morphometric indicators of the coast of Tsimplanskoe reservoir 146

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT. CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY

Sanzhapov B.Kh., Sadovnikova N.P. Conformance purposes with ecological and economic justification of the urban planning project in the conditions of fuzzy information 151

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE

Abramjan S.G. Quantitative assessment of reconstruction and capital repairs of linearly-extended constructions on the environment 160

OUR AUTHORS 166

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ.
ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.
МЕХАНИКА ГРУНТОВ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

УДК 624.9:517.972

С.Ю. Калашников, О.К. Казначеева, О.А. Бурцева

**АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
И ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАБЛЮДАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Приведены алгоритмы оптимального оценивания напряженно-деформированного состояния и внешнего воздействия наблюдаемых конструкций. При формировании алгоритмов использована теория вариационного исчисления. Получены матричные линейные разрешающие уравнения. Приведен пример оценивания внешнего воздействия рамной конструкции.

К л ю ч е в ы е с л о в а: оценивание, напряженно-деформированное состояние, наблюдаемые конструкции, вариационное исчисление, рамная конструкция.

Algorithms of optimal stress and strain state estimation and external actions of observable structures are described. The variations calculus theory is used at formation of algorithms. The matrix linear resulting equations are received. The example of the estimation external action of the frame structure is presented.

K e y w o r d s: estimation, stress and strain state, observable structures, variations calculus, frame structure.

На протяжении многих десятилетий проблема оценивания была и остается предметом исследований многих ученых (К.Ф. Гаусс, Н. Винер, А.Н. Колмогоров и др.) [1, 2]. Характерные постановки математических задач теории оценивания были продиктованы запросами реальной жизни, а реализация процедур оценивания приводила к усовершенствованию их алгоритмов.

Значительным событием было открытие в 1960-е гг. алгоритма оценивания Калмана — Бьюси. Его особенностью является то, что нет необходимости помнить всю предшествующую информацию о системе. Будущее состояние системы определяется только ее текущей оценкой и вновь поступившей информацией. Алгоритм Калмана — Бьюси прост, эффективен и сразу нашел применение в практических задачах, связанных с оцениванием состояний объектов. Недостатком этого алгоритма оценивания является решение многомерного матричного нелинейного уравнения Риккати.

В настоящей статье к проблеме оценивания предложено использовать теорию вариационного исчисления, что позволяет получить разрешающие уравнения в виде матричных линейных уравнений.

Уравнение наблюдаемой конструкции, записанное в нормальной форме Коши, имеет вид [1, 3]

$$\dot{\vec{Q}} = A\vec{Q} + B_F \vec{F}, \quad \vec{Q} \in R^n. \quad (1)$$

Здесь $\vec{Q}$ — вектор переменных состояний конструкции; A, B_F — матрицы, характеризующие объект и распределение внешнего воздействия по нему. В общем случае это переменные матрицы, не зависящие от $\vec{Q}$; n — размерность вектора $\vec{Q}$.

Считаем, что переменные $\vec{Q}(t)$ доступны косвенному измерению средствами наблюдения, причем сигналы $\vec{Z}(t)$ связаны с вектором состояния конструкции $\vec{Q}(t)$ соотношением

$$Z = CQ, \quad Z \in R^m, \quad m < n, \quad (2)$$

где C — заданная матрица «состава измерений», зависящая от размещения, типа и числа датчиков; m — число датчиков системы измерения (СИ).

Требуется произвести оценку $\vec{Q}(t)$ вектора состояний по единственной достоверной информации $\vec{Z}(t)$ — действительным показаниям датчиков СИ. В общем случае возникает необходимость оценивания и вектора возмущений $\vec{F}(t)$.

В дальнейшем полагаем, что конструкция наблюдаема в том смысле, как это понимается Калманом [3, 4]. Так, если A, C — постоянные матрицы, должно выполняться равенство

$$\rho = \left(C^T \mid A^T C^T \mid (A^T)^2 C^T \mid \dots \mid (A^T)^{n-1} C^T \right) = n,$$

где $\square$ — символ операции определения ранга матрицы; T — знак транспонирования.

Алгоритм оптимального оценивания наблюдаемых конструкций (общий подход). Пусть внешнее воздействие на конструкцию неизвестно. Это могут быть чрезвычайные ситуации, возникающие в случаях: сейсмической, ветровой и снеговой нагрузок; удара массивных тел о конструкцию; взрывов газового оборудования или при террористических актах.

С целью получения информации о нагрузках и напряженно-деформированном состоянии (НДС) сооружения рассмотрим задачу об оптимальном оценивании состояний объекта (1) при наличии системы наблюдения (2) на некотором интервале времени. Она необходима для принятия решений по управлению сооружением, либо установления его остаточного ресурса.

Введем критерий качества оценивания, представленный в виде рассогласования действительных и расчетных показаний датчиков и оценок внешнего воздействия:

$$\begin{aligned} \Phi = & \int_{t_0}^{t_1} \left[(\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_1 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \vec{F}^T V_F \vec{F} \right] dt + \\ & + (\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) \Big|_{t_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\vec{Z}_d$ — действительные показания датчиков системы измерения; V_1, V_F, V_2 — заданные симметричные определенно положительные матрицы весовых коэффициентов.

Необходимо оценить усилия $\vec{F}(t)$ на сооружение и переменные состояния конструкции $\vec{Q}(t)$, доставляющие минимум функционалу (3).

Выражение (3) преобразуем к виду

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_1} \left\{ \frac{d}{dt} \left[(\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) \right] + (\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_1 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \vec{F}^T V_F \vec{F} \right\} dt + (\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) \Big|_{t_0}$$

и введем функцию

$$\begin{aligned} \Psi = & (\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_1 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \vec{F}^T V_F \vec{F} + \\ & + \frac{d}{dt} \left[(\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \vec{F}^T V_F \vec{F} \right] + 2\vec{L}^T (\vec{Q} - A\vec{Q} - B_F \vec{F}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\vec{L}^T(t)$ — вектор «неопределенных множителей» Лагранжа.

Условия достижения минимума критерия (5) записываем в форме уравнений Эйлера:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \vec{F}} = 0, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \vec{Q}} \right) - \frac{\partial \Psi}{\partial \vec{Q}} = 0. \quad (6)$$

Из первого условия (6) следует

$$\vec{F} = V_F^{-1} B_F^T \vec{L} := \vec{F}_{\text{опт}}, \quad (7)$$

из второго получаем

$$\vec{L} + A^T \vec{L} + C^T V_1 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) = 0. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) достаточны для отыскания оценок переменных $\vec{Q}(t)$ и $\vec{F}(t)$ при заданных $\vec{Z}(t)$.

В зависимости от вида задачи уравнения (7) и (8) должны быть решены с учетом различных граничных условий.

Если известно начальное состояние системы, решаем задачу Коши при условиях:

$$\vec{Q}(t) \Big|_{t_0} = \vec{Q}(t_0), \quad B_F^T \vec{L}(t) \Big|_{t_0} = V_F \vec{F}(t_0).$$

Если заданы значения t_0 и t_1 , но неизвестны начальное и конечное состояния системы, исходим из условия

$$\delta \Phi = -2\delta \vec{Q}^T C V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) \Big|_{t_0} + \delta \vec{Q}^T \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \vec{Q}} \right)^T \Big|_{t_1} = 0,$$

где отбрасываем интегральное слагаемое вариации функционала (3), равное нулю. Отсюда, в силу произвольности вариации $\delta \vec{Q}$, получаем

$$\left| C^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \left(\frac{\partial \psi}{\partial \vec{Q}} \right) \right|_{t_0} = 0, \quad \left(\frac{\partial \psi}{\partial \vec{Q}} \right)^T \Big|_{t_1} = 0,$$

откуда следует:

$$\vec{L}(t) = 0, \quad \left| C^T V_2 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) - \vec{L} \right|_{t_1} = 0.$$

Алгоритм оценивания напряженно-деформированного состояния и внешнего воздействия в статическом случае. Пусть информация о геометрии конструкции, физико-механических воздействиях материалов и данные СИ представлены достаточно корректно, а сведения о внешней нагрузке весьма приближенные. Тогда полагаем

$$\vec{F} = \vec{F}_0 \pm \Delta \vec{F},$$

где $\vec{F}_0$ — прогнозируемое значение внешних сил; $\Delta \vec{F}$ — поправка к внешним воздействиям.

Математическую модель наблюдаемой конструкции и системы измерения (СИ) представляем в виде

$$H\vec{Q} = B_F (\vec{F}_0 \pm \Delta \vec{F}), \quad \vec{Z} = C\vec{Q}, \quad (9)$$

где H — матрица жесткости; $\vec{Q}$ — вектор обобщенных координат конструкции; $\vec{Z}$ — вектор расчетных значений сигналов СИ. Размерности n_j векторов $\vec{F}_0, \Delta \vec{F}, \vec{Z}$ полагаем значительно меньшими размерности n_Q вектора $\vec{Q}$; C — постоянная $(m \times n_Q)$ матрица.

Полагаем, что СИ обеспечивает достаточную наблюдаемость конструкции, причем

$$\rho = \left[C^T \mid HC^T \mid H^2 C^T \mid \dots \mid H^{n_Q-1} C^T \right] = n_Q.$$

Оптимальные оценки (неизвестные $\vec{Q}, \Delta \vec{F}$) определяем из условия достижения минимума целевой функции

$$2\psi = (\vec{Z}_d - C\vec{Q})^T V_1 (\vec{Z}_d - C\vec{Q}) + \Delta \vec{F}^T V_2 \Delta \vec{F} + \vec{L}^T (H\vec{Q} - B_F \vec{F}_0 \mp B_F \Delta \vec{F}) \rightarrow \min. \quad (10)$$

Здесь $\vec{Z}_d$ — действительные показания датчиков СИ; V_1, V_2 — симметричные определенно положительные матрицы весовых коэффициентов; $\vec{L}$ — вектор «неопределенных» множителей Лагранжа.

Условие минимума выражения (10) составляем по методу Эйлера — Лагранжа

$$\frac{\partial \psi}{\partial \vec{Q}} = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial \Delta \vec{F}} = 0. \quad (11)$$

В результате вычисления производных по вектору получаем систему алгебраических уравнений для нахождения векторов $\vec{Q}, \Delta \vec{F}$ и $\vec{L}$:

$$\begin{aligned}
H\vec{Q} - B_F V_2^{-1} B_F^T \vec{L} &= B_F \vec{F}_0; \\
C^T V_1 C \vec{Q} + H^T \vec{L} &= C^T V_1 \vec{Z}_d; \\
\Delta \vec{F} &= -B_F V_2^{-1} B_F^T \vec{L}.
\end{aligned} \tag{12}$$

В выражениях (12), избавляясь от переменной $\vec{L}$, получим

$$\left[\begin{array}{c|c} H & \mp B_F \\ \hline V_2^{-1} B_F^T H^{-1} C^T V_1 C & \pm E \end{array} \right] \begin{bmatrix} \vec{Q} \\ \Delta \vec{F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_F \vec{F}_0 \\ V_2^{-1} B_F^T H^{-1} C^T V_1 \vec{Z}_d \end{bmatrix}, \tag{13}$$

где E — единичная матрица.

Проблема «выравнивания» размерностей и величин коэффициентов целевой функции может быть решена путем нормирования величин и переходом к безразмерным параметрам $\vec{Q}$, $\vec{F}_0$, H , $\vec{Z}$, C .

Основные этапы расчета при безразмерном и нормированном критерии качества следующие:

1) предварительный расчет конструкции с целью нахождения исходных значений обобщенных координат $\vec{Q}_0$ и показаний СИ $\vec{Z}_d$.

$$H\vec{Q}_0 = \vec{F}_0, \quad \vec{Z}_d = C\vec{Q}_0;$$

2) вычисление нормирующих множителей:

$$|q_0| = \frac{1}{n} \sqrt{\vec{q}^T \vec{q}}, \quad |f_0| = \frac{1}{n} \sqrt{\vec{f}_0^T \vec{f}_0}, \quad |z_0| = \frac{1}{n} \sqrt{\vec{Z}_d^T \vec{Z}_d},$$

где $\vec{q} = L^{-1} \vec{Q}_0$, $\vec{f}_0 = B_F \vec{F}_0$, $L = \text{diag}[\dots \quad l \quad \dots \quad 1]$ — диагональная матрица, элементами которой являются параметр длины l в клетках, отвечающих линейным перемещениям, и единицы в клетках, отвечающих угловым перемещениям;

3) вычисление безразмерных и нормированных величин:

$$h = \frac{1}{L_0 F_0} \sqrt{L^T H L}, \quad \vec{f} = \frac{1}{F_0 |f_0|} B_F \vec{F}_0, \quad \vec{q} = \frac{1}{|q_0|} L^{-1} \vec{Q}_0, \quad \vec{Z} = \frac{1}{|z_0|} \vec{Z}_d,$$

где L_0 , F_0 — некоторые числа.

Эффективность и верификация предложенного алгоритма расчета внешних воздействий выполнена на примере рамной конструкции.

Верификация алгоритма оптимального оценивания состояний наблюдаемых конструкций. Особенности подготовки исходной информации и проверку эффективности алгоритма оптимального оценивания выполним на примере рамы, приведенной на рис. 1, а.

Полагаем, что стойка рамы выполнена из двух швеллеров № 22 ($I_{xc} = 2 \cdot 2110 = 4220 \text{ см}^4$; $A_c = 2 \cdot 26,7 = 53,4 \text{ см}^2$; $W_{xc} = 2 \cdot 192 = 384 \text{ см}^3$), а ригель из двух швеллеров № 27 ($I_{xp} = 2 \cdot 4160 = 8320 \text{ см}^4$; $A_p = 2 \cdot 35,2 = 70,4 \text{ см}^2$; $W_{xp} = 2 \cdot 308 = 616 \text{ см}^3$), длина ригеля равна длине стоек $L_p = L_c = 6 \text{ м}$.

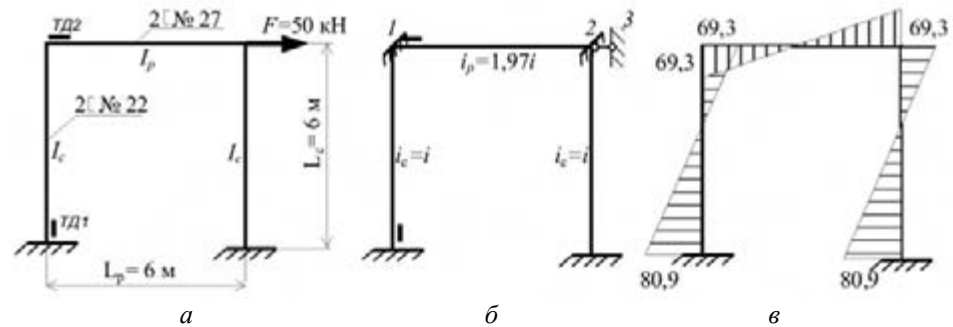


Рис. 1. Заданная (а) и основная (б) системы метода перемещений рамы со схемой размещения тензодатчиков и результирующая (в) эпюра моментов

Тензодатчики (ТД1, ТД2) системы измерения устанавливаем в наиболее удаленных от нейтральной оси точках параллельно осям соответствующих элементов. Основная система метода перемещений представлена на рис. 1, б.

На рис. 2 показаны эпюры изгибающих моментов от единичных кинематических воздействий.

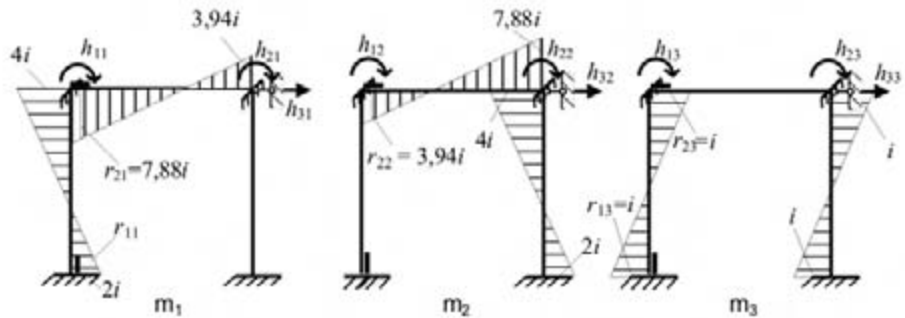


Рис. 2. Единичные эпюры моментов

На основании единичных эпюр формируем матрицу жесткости конструкции

$$H = \begin{bmatrix} 11,9i & 3,94i & -i \\ 3,94i & 11,9i & -i \\ -i & -i & 0,67i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,7 & 5,54 & -1,41 \\ 5,54 & 16,7 & -1,41 \\ -1,41 & -1,41 & 0,938 \end{bmatrix},$$

где I — погонная жесткость стойки рамы, $\text{МН} \cdot \text{м}$

$$i = i_c = \frac{E_c I_{xc}}{L_c} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 4220 \cdot 10^{-8}}{6} = 1,407.$$

Как видно из рис. 1, б, число неизвестных метода перемещения равно 3. С целью уменьшения размерности задачи и учета информации о нагрузке составляем матрицу

$$B_F = [0 \quad 0 \quad 1]^T.$$

Матрицу преобразования сигналов СИ формируем на основании выражения

$$C = k_r D_{k \times k} R_{m \times n}.$$

Здесь k_T — коэффициент тензочувствительности (усиления); $D = \text{diag}[d_1 \ d_2 \ \dots \ d_k]$ — диагональная матрица, коэффициенты которой зависят от направления, расстояния датчиков СИ до нейтрального слоя и жесткости элемента; m — число датчиков СИ; n — степень кинематической неопределимости;

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix},$$

r_{ij} — ординаты единичной эпюры m_j в «точке» установки датчика i .

Так, для рассматриваемой рамы «действительные» значения сигналов датчиков СИ ε_2

$$z_{d1} = k_T \varepsilon_1 = k_T \frac{M_1 y_1}{EI_{x1}} = k_T d_1 M_1; \quad z_{d2} = k_T \varepsilon_2 = k_T d_2 M_2.$$

Здесь M_1 и M_2 — ординаты результирующей эпюры моментов в «точках» установки датчиков; y_1 и y_2 — расстояния от тензодатчиков до нейтрального слоя; EI_1, EI_2 — жесткости элементов.

Тогда

$$d_1 = \frac{11 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^5 \cdot 4220 \cdot 10^{-8}} = 0,0130;$$

$$d_2 = \frac{13,5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^5 \cdot 8320 \cdot 10^{-8}} = 0,00811;$$

$$D = \text{diag}[0,013 \quad 0,00811].$$

Матрицу R формируем, используя единичные эпюры:

$$R = \begin{bmatrix} 2i & 0 & -i \\ -7,88i & -3,94i & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,814 & 0 & -1,407 \\ -11,09 & -5,544 & 0 \end{bmatrix}.$$

Тогда при $k_T = 1$, имеем

$$C = k_T DR = \begin{bmatrix} 0,0366 & 0 & -0,0183 \\ -0,0892 & -0,0450 & 0 \end{bmatrix}.$$

С целью верификации алгоритма оптимального оценивания в качестве действительных показаний СИ (при $k_T = 1$) принимаем расчетные значения деформаций ε_1 и ε_2 в точках предполагаемой установки тензорезисторов, полученные на основании результирующей эпюры моментов (рис. 2, в).

$$z_1 = k_T \varepsilon_1 = k_T d_1 M_1 = 1 \cdot 0,013 \cdot (-0,0811) = -1,05 \cdot 10^{-3};$$

$$z_2 = k_T \varepsilon_2 = k_T d_2 M_2 = 1 \cdot 0,00811 \cdot 0,0693 = 0,561 \cdot 10^{-3}.$$

Вектор «действительных» показаний СИ имеет вид

$$Z_d = [-0,00105 \quad 0,000561]^T.$$

Выполнена оценка НДС и внешних воздействий для двух случаев:

а) при нагрузке $F_0 = 50$ кН соответствующей расчетным значениям деформаций ε_1 и ε_2 ;

б) при нагрузке $F_0 = 25$ кН, т.е. отличающейся от действительной на 50 %.

Результаты оценивания

Размерный алгоритм			Безразмерный алгоритм		
F_0	ΔF	$(Q_F - Q_{F_0+\Delta F}) \cdot 100\%$	F_0	ΔF	$(Q_F - Q_{F_0+\Delta F}) \cdot 100\%$
МН		%	МН		%
0,05	$7,8 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,05	$4 \cdot 10^{-6}$	0,06
0,025	0,024	0,4	0,025	0,025	0,17

В таблице введены обозначения: F_0 — прогнозируемое значение внешней силы; ΔF — поправка силы, рассчитанная алгоритмом; Q_F — вектор обобщенных координат рамы при «точном» значении нагрузки; $Q_{F_0+\Delta F}$ — вектор обобщенных координат рамы при скорректированной алгоритмом нагрузке (взято наибольшее значение абсолютной погрешности).

Верификация алгоритма показала его высокую точность. Алгоритм прост, так как реализует линейные матричные уравнения, не требует использования мощных аппаратных средств и больших временных затрат. Разработанный алгоритм может быть использован в системах оценивания состояния сооружений:

при нештатных ситуациях (взрыв, пожар, землетрясение, ураган) алгоритм совместно с системой управления сооружением позволит мгновенно среагировать на внешнее воздействие исполнительными механизмами;

для длительного мониторинга элементов конструкции и выявления опасных процессов разрушения, а также для определения остаточного ресурса работы сооружения;

с целью принятия мер по обеспечению несущей способности всего сооружения и оповещения в случае возникновения нештатных ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калман Р., Бьюси Р. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания // Техн. механика. Сер. Д. 1961. Т. 83, № 1.
2. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана — Бьюси. М. : Наука, 1982. 199 с.
3. Казначеева О.К. Оптимальное оценивание напряженно-деформированного состояния и идентификация параметров наблюдаемых конструкций : монография. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2010. 95 с.
4. Воронов А.П. Введение в динамику сложных управляемых систем. М. : Наука, 1985. 352 с.
1. Kalman R., B'yusi R. Novyye rezul'taty v lineynoy fil'tratsii i teorii predskazaniya // Tekhn. mekhanika. Ser. D. 1961. T. 83, № 1.
2. Brammer K., Ziffling G. Fil'tr Kalmana — B'yusi. M. : Nauka, 1982. 199 s.
3. Kaznacheeva O.K. Optimal'noye otsenivaniye napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya i identifikatsiya parametrov nablyudayemykh konstruktсий : monografiya. Novocherkassk : YuRG TU, 2010. 95 s.
4. Voronov A.P. Vvedeniye v dinamiku slozhnykh upravlyayemykh system. M. : Nauka, 1985. 352 s.

© Калашиников С.Ю., Казначеева О.К., Бурцева О.А., 2011

Поступила в редакцию в январе 2011 г.

УДК 624.131.524

А.Н. Богомолов, Я.В. Качурин, О.А. Богомолова, А.В. Соловьев**ВЫЧИСЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОСАДОК
СРЕДНЕЙ ЛИНИИ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА, ВЫЗЫВАЕМЫХ
ВЛИЯНИЕМ ВНОВЬ ВОЗВОДИМОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ**

Приведены результаты исследований возникновения дополнительных осадок середины ленточного фундамента, вызываемых влиянием вновь возводимых сооружений. В качестве расчетных переменных параметров выбраны: ширина возводимого фундамента, интенсивность воспринимаемой им равномерно распределенной нагрузки и расстояние между краями уже существующего и ориентированного параллельно ему вновь строящегося фундамента. Приведены эмпирические формулы и графические зависимости, позволяющие вычислять дополнительные осадки середины фундамента при изменении численных значений расчетных параметров в заданных пределах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дополнительные осадки фундамента, фундаменты, ленточные фундаменты, параллельное сооружение.

Research data of additional settlements organization of the strip-foundation mid line, which is the impact of the new-built parallel constructions, are described. Width of new-built foundation, perceived intensity of the blanket load and interval edge of already-existing and oriented parallel to the newly constructed basement are chosen as the calculated variables. Empirical equations and graphic dependences allowing calculation the additional settlements of the girder foundation hearing by numerical values changes of design parameters within the prescribed limits are described.

К e y w o r d s: additional settlements of the foundation, foundations, strip-foundation, parallel construction.

Результаты экспериментально-теоретических исследований взаимного влияния незаглубленных ленточных фундаментов, проведенных нами и другими учеными [1—6], говорят о том, что близко расположенные фундаменты оказывают влияние на напряженное состояние оснований друг друга и, как следствие, на величину их несущей способности. Нами показано, например, что начиная с некоторого расстояния между фундаментами одинаковой ширины, находящихся под действием нагрузки одинаковой интенсивности, наблюдается увеличение несущей способности грунтового основания системы параллельных фундаментов, которое может достигать 30 % и более. Следовательно, можно предположить, что ближнее соседство фундаментов будет оказывать влияние и на их осадки. Так как расчет оснований должен проводиться по двум группам предельных состояний, то упомянутое выше обстоятельство требует особого рассмотрения.

В контексте сказанного выше при помощи компьютерной программы [7], разработанной в ВолгГАСУ на основе процедуры метода конечных элементов, проведены вычисления перемещений точек основания фундамента. Фрагмент расчетной схемы приведен на рис. 1. Она состоит из 24000 треугольных элементов, сопряженных в 12291 узле. Ширина матрицы жесткости системы 106.

Суть и последовательность проведения вычислений

1. Вычисляются вертикальные перемещения точек грунтового массива, лежащих на его дневной поверхности и на двух параллельных ей прямых ли-

ниях, находящихся на глубине d и $2d$ внутри основания. При этом равномерно распределенная расчетная нагрузка интенсивностью $q_p = q/(\gamma d) = 14,4$ передается на фундамент единичной ширины d , жесткость которого при расчете не учитывается. Объемный вес грунта принят равным $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi = 15^\circ$, а удельное сцепление $C = 0,063 \text{ МПа}$. При этом величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = 11,99$.

Отметим, что величина интенсивности внешнего воздействия определена

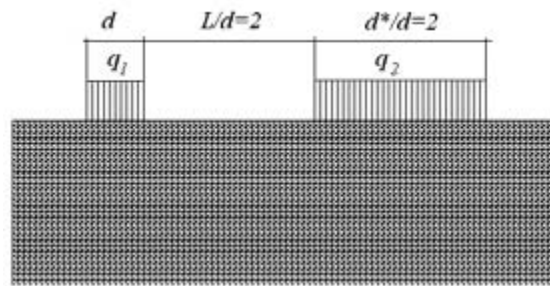


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы

из условия, что q_p при заданных расчетных параметрах является первой критической нагрузкой, т.е. малейшее ее изменение в большую сторону влечет за собой образование непосредственно под фундаментом областей предельного состояния грунта. До тех пор, пока под фундаментом во время проведения численного эксперимента не начнут возникать области предельного состояния грунта, результаты расчета можно считать достоверными.

2. Затем на расстоянии $L = 8d$ от края фундамента прикладывалась равномерно распределенная нагрузка такой же величины и интенсивности, после чего вновь вычислялись вертикальные (ΔS) и горизонтальные перемещения. Затем перемещения вычислялись при значениях $L = (5,0; 3,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,1; 0)d$ и при $q = (0,5; 2,0; 3,0)q_p$ при тех же значениях L . Таким образом проводится 96 вариантов вычислений.

3. На следующем этапе устанавливается нагрузка двойной и тройной ширины и проводятся еще 192 варианта вычислений.

4. После этого из численных значений перемещений в соответствующих точках вычитают значения перемещений, вычисленные для одиночного фундамента, и получают приращения перемещений или, другими словами, величины дополнительных перемещений, возникших вследствие устройства дополнительного фундамента различной ширины (три значения), нагруженного равномерно распределенной нагрузкой, величина которой принимает четыре значения, которые заносятся в таблицу (см. ниже).

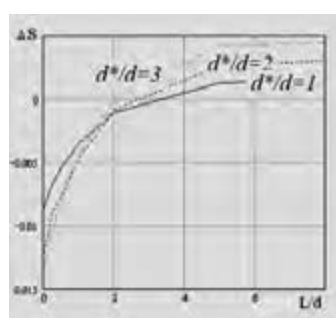
Заметим, что при расчете основание считается изотропным и однородным, величина расчетного модуля деформации принята равной $E^p_o = E_o/\gamma d = 500$, величина коэффициента бокового давления $\xi_o = 0,75$. Так как перемещения в упругой стадии обратно пропорциональны величине E_o , то значения величины ΔS могут быть определены для любого значения E_o .

С использованием численных данных, приведенных в табл. 1, построены графические зависимости вида $\Delta S = f(L/d)$ для всех численных значений расчетных параметров, которые оговорены выше.

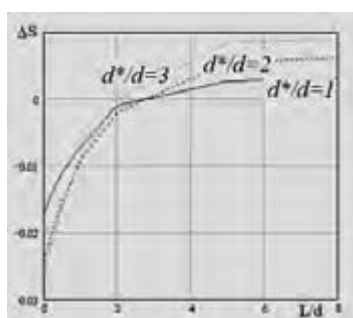
Т а б л и ц а 1

Численные значения дополнительных вертикальных перемещений
середины фундамента

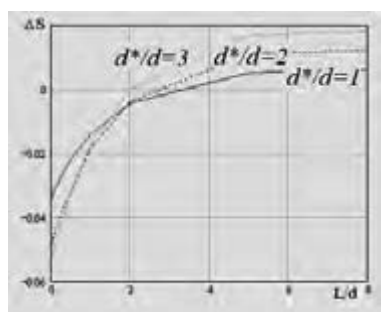
d^*/d	q^*/q	L/d							
		0	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	8,0
1	0,5	-0,0086	-0,0078	-0,0068	-0,0054	-0,0035	-0,0011	0,0013	0,0015
	1,0	-0,0171	-0,0156	-0,0137	-0,0110	-0,0071	0,0004	0,0026	0,0031
	2,0	-0,0343	-0,0313	-0,0273	-0,0220	-0,0141	-0,0045	0,0051	0,0061
	3,0	-0,0516	-0,0470	-0,0411	-0,0331	-0,0212	-0,0068	0,0077	0,0092
2	0,5	-0,0121	-0,0110	-0,0096	-0,0076	-0,0047	-0,0009	0,0027	0,0030
	1,0	-0,0242	-0,0221	-0,0192	-0,0153	-0,0093	-0,0019	0,0055	0,0061
	2,0	-0,0484	-0,0441	-0,0385	-0,0220	-0,0186	-0,0038	0,0109	0,0121
	3,0	-0,0726	-0,0662	-0,0280	-0,0458	-0,0288	-0,0057	0,0164	0,0182
3	0,5	-0,0132	-0,0120	-0,0103	-0,0080	-0,0047	-0,0000	0,0043	0,0045
	1,0	-0,0264	-0,0240	-0,0207	-0,0160	-0,0090	-0,0001	0,0085	0,0090
	2,0	-0,0529	-0,0480	-0,0414	-0,0321	-0,0179	-0,0002	0,0169	0,0180
	3,0	-0,0794	-0,0720	-0,0621	-0,0481	-0,0269	-0,0003	0,0255	0,0270



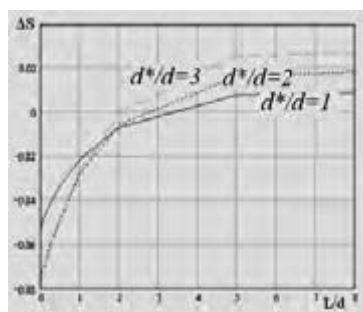
а



б



в



г

Рис. 2. Графики зависимостей вида $\Delta S = f(L/d)$ при $q_1 = 14,4$; $q_2 = 7,2$ (а); $q_1 = 14,4$; $q_2 = 14,4$ (б); $q_1 = 14,4$; $q_2 = 28,8$ (в) и $q_1 = 14,4$; $q_2 = 43,2$ (г)

Анализ кривых показывает:

1) если «возмущающий» фундамент находится на расстоянии $L > 2d$, то при любой его ширине и интенсивности воспринимаемой им нагрузки центр существующего фундамента будет испытывать «отрицательную осадку», т.е. подъем; при $L < 2d$ осадки существующего фундамента будут нарастать;

2) при величине $L \leq 1,5d$ «возмущающие» фундаменты при $d^*/d = 2; 3$ будут оказывать на существующий фундамент практически одинаковое действие при условии, что интенсивности воспринимаемых ими нагрузок одинаковы;

3) все приведенные на рис. 2 кривые со средней квадратичной ошибкой, не превышающей 6 %, могут быть аппроксимированы выражением

$$\Delta S = a \ln \left(\frac{L}{d} c + b \right) + m, \quad (1)$$

где a , c , b и m — безразмерные коэффициенты с учетом того, что ΔS — безразмерная величина, выражаемая в долях d .

С целью упрощения процедуры вычисления дополнительных осадок составлена база коэффициентов, входящих в формулу (1), а затем построены графические зависимости их численных значений от величины q^*/q при трех значениях отношения $d^*/d = 1; 2; 3$, которые приведены на рис. 3.

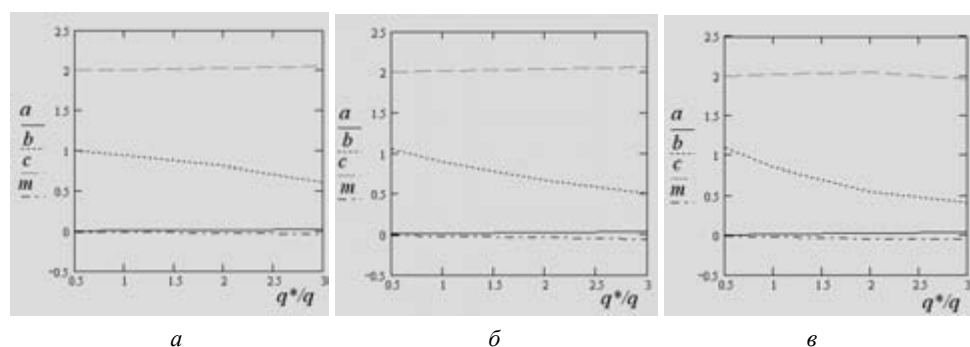


Рис. 3. Графические зависимости коэффициентов a , b , c и d от величины отношения q^*/q при $d^*/d = 1$ (а), $d^*/d = 2$ (б) и $d^*/d = 3$ (в)

Анализируя, проводя математическую обработку этих графиков и сопоставительные расчеты, можно сказать:

1) численное значение коэффициента c , входящего в формулу (1), может быть принято постоянным и равным 2,012 для любого сочетания расчетных параметров, рассмотренных в настоящей работе. Данное значение отличается от значений коэффициента c , определенных в работе, не более чем на 0,8 %;

2) величину коэффициента b с точностью до 13 % можно считать не зависящей от величины отношения q^*/q и определять по графику, приведенному на рис. 4, б;

3) численные значения коэффициентов a и m могут быть определены по графикам, приведенным на рис. 4, а, с погрешностью, не превышающей 5 %;

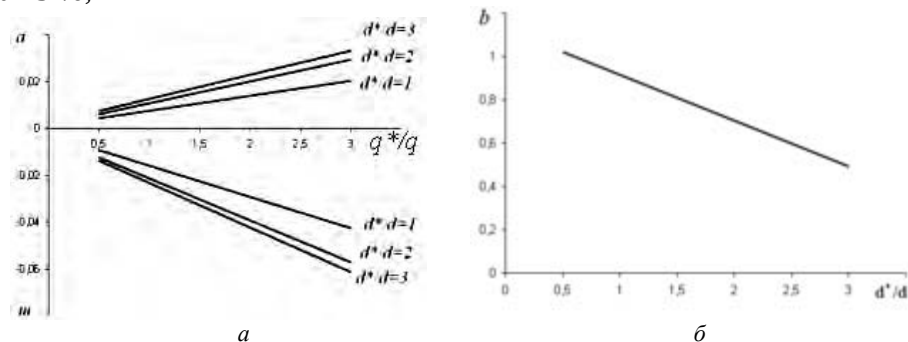


Рис. 4. Графики для определения коэффициентов a , m (а) и b (б)

4) суммарная погрешность при использовании формулы (1), определяемая приведенными аппроксимациями, не превышает 6,2 %.

Можно повысить точность определения дополнительных перемещений, если использовать для отыскания коэффициентов, входящих в формулу (1), следующие аналитические выражения:

$$b = 1,1253 - 0,2117 \left(d^*/d \right); \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_3 = 0,0103 q^*/q + 0,0022; \\ a_2 = 0,0092 q^*/q + 0,0015; \\ a_1 = 0,0064 q^*/q + 0,0010; \\ m_3 = -0,0191 q^*/q - 0,0042; \\ m_2 = -0,0179 q^*/q - 0,0036; \\ m_1 = -0,0133 q^*/q - 0,0026, \end{cases} \quad (3)$$

где индексы 1, 2 и 3 говорят о том, для какого значения d^*/d вычисляется данный коэффициент.

Таким образом, получены формулы и графики, позволяющие вычислять дополнительные вертикальные перемещения средней линии подошвы ленточного фундамента уже существующего сооружения, возникающие вследствие новой застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холмянский М.Л. Напряженное состояние грунта при действии периодической системы полосовых нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 5. С. 2—6.
2. Федоровский В.Г. Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 3. С. 9—13.
3. Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Якименко И.В. Повышение несущей способности основания как следствие использования составных ленточных фундаментов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2010. Вып. 19(38). С. 5—11.
4. О взаимном влиянии параллельных незаглубленных ленточных фундаментов / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, И.В. Якименко // Малоэтажное строительство : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : ВолГАСУ, 2009. С. 131—136.
5. Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Качурин Я.В. Оценка взаимного влияния близ расположенных ленточных фундаментов // Наука и образование: Архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., 6—10 сентября 2010 г., г. Волгоград. Волгоград : ВолГАСУ, 2010. С. 256—261.
6. Оценка дополнительных осадок ленточных фундаментов, вызванных перегрузкой основания вновь возводимыми сооружениями / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, И.В. Якименко // Наука и образование: Архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., 6—10 сентября 2010 г., г. Волгоград. Волгоград : ВолГАСУ, 2010. С. 261—266.
7. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, М.Ю. Нестратов.
8. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
9. Цветков В.К. Расчет рациональных параметров горных выработок. М. : Недра, 1993. 251 с.

1. *Holmjansky M.L.* Napryazhennoye sostoyaniye grunta pri deystvii periodicheskoy sistemy polosovykh nagruzok // *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2005. № 5. S. 2—6.
2. *Fedorovsky V.G.* Predel'noye davleniye na ryad lentochnykh shtampov i effect «neprodavli-vaniya» // *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2006. № 3. S. 9—13.
3. *Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Yakimenko I.V.* Povysheniye nesushchey sposobnosti osnovaniya kak sledstviye ispol'zovaniya sostavnykh lentochnykh fundamentov // *Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit.* 2010. Vyp. 19(38). S. 5—11.
4. O vzaimnom vliyani parallel'nykh nezaglublyonnykh lentochnykh fundamentov / A.N. Bogomolov, O.A. Bogomolova, Ya.V. Kachurin, I.V. Yakimenco // *Maloetazhnoye stroitel'stvo : materially Mezhdunar. nauch.-praktich. konfer. Volgograd : VolgGASU*, 2009. S. 131—136.
5. *Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Kachurin Ya.V.* Ocenka vzaimnogo vliyaniya bliz raspolozhennykh lentochnykh fundamentov // *Nauka i obrazovaniye: Arhitectura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materially Mezhdunar. konfer., 6—10 sentyabrya 2010 g., g.Volgograd. Volgograd : VolgGASU*, 2010. S. 256—261.
6. Otsenka dopolnitel'nykh osadok lentochnykh fundamentov, vyzvannykh peregruzkoy osnovanika vnov' vozvodimymi sooruzheniyami / A.N. Bogomolov, O.A. Bogomolova, Ya.V. Kachurin, I.V. Yakimenco // *Nauka i obrazovaniye: Arhitectura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materially Mezhdunar. konfer., 6—10 sentyabrya 2010 g., g.Volgograd. Volgograd : VolgGASU*, 2010. S. 261—266.
7. Ustoychivost' (napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye) : svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A.N. Bogomolov, O.A. Bogomolova, M.Ju. Nestratov i dr.
8. *Bogomolov A.N.* Raschot nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm' : PGU, 1996. 150 s.
9. *Cvetkov V.K.* Raschot ratsional'nykh parametrov gornykh vyrabotok. M. : Nedra, 1993. 251 s.

© Богомолов А.Н., Качурин Я.В., Богомолова О.А., Соловьев А.В., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 624.131.5: 539.3

*А.Н. Богомолов, А.Н. Ушаков, О.А. Богомолова***НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛУПЛОСКОСТИ ПРИ СДВИГЕ УЧАСТКА ЕЕ ГРАНИЦЫ**

Приведены в замкнутом виде выражения для компонент напряжения и компонент деформации второй основной граничной задачи плоской теории упругости для полуплоскости при сдвиге участка ее границы. Построены картины изолиний компонент напряжения и деформации, из которых видно, что численные значения всех одноименных компонент, находящихся в соответствующих точках по разные стороны от оси симметрии, равны по величине и противоположны по знаку. Получена формула осадки, возникающей при горизонтальном смещении участка границы полуплоскости. Величина осадки прямо пропорциональна величине смещения участка границы и обратно пропорциональна величине коэффициента бокового давления грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: напряжения и деформации, сдвиг границы полуплоскости, коэффициент бокового давления грунта, осадки оснований, горизонтальное смещение, полуплоскость, грунт.

Expressions for stress and strain components the second major boundary problem of plane elastic theory for the half-plane in shear its surface area piece are described in closed species. Image isopleth, stress and strain components are constructed, and numerical values of the same name components, located at the corresponding points on opposite side off-axis of symmetry, are equal in value but opposite in sign. The formula settlement occurring during the strike shift of the section of the half-plane boundary is received. The slump is directly proportional to the surface area piece and is inversely proportional to the coefficient of earth pressure.

К е y w o r d s: stress and strain components, shear of half-plane's boundary, coefficient of earth pressure, yielding of foundation, strike shift, half-plane, earth.

Хорошо известно, что под действием различных нагрузок все возводимые сооружения претерпевают большие или меньшие вертикальные смещения, т.е. осадки.

Если величины этих осадок не превышают некоторые наперед заданные значения, то считается, что долговременная безопасная эксплуатация сооружения обеспечена. Поэтому расчет оснований сооружений по второму предельному состоянию, т.е. по деформациям, является одной из важнейших задач механики грунтов. Эта задача весьма сложна, поскольку на осадку основания оказывают влияние большое количество факторов.

Расчет осадки проводится в рамках той или иной модели, большинство из которых основано на свойстве непрерывности грунтовых сред, а для анализа их напряженно-деформированного состояния применим аппарат механики сплошной среды [1].

В результате проведения многочисленных экспериментов установлено [2], что деформации грунтов под фундаментами развиваются в основном в верхней зоне основания, поэтому для анализа процесса осадки сооружения могут быть применены модели, основанные на решениях задач теории упругости [2, 3]. Однако наряду с необходимостью определения вертикальных смещений часто бывает нужно отыскивать горизонтальные смещения, например при расчете оснований фундаментов распорных сооружений (арки, фермы, фундаменты с наклонной подошвой и т.д.). В этом случае, очевидно,

можно также воспользоваться подходом, связанным с представлением о континуальности грунтовой среды.

В рамках модели линейно-деформируемой среды рассмотрим задачу об определении горизонтального смещения грунтового массива при заданной величине смещения участка границы на основе решения второй основной граничной задачи плоской теории упругости для полуплоскости, полученного Н.И. Мусхелишвили.

Граничное условие для второй основной задачи плоской теории упругости в случае полуплоскости имеет вид [4, с. 353]

$$\aleph \varphi(t) - t \overline{\varphi'(t)} - \overline{\psi(t)} = 2\mu(g_1(t) + ig_2(t)),$$

или

$$\aleph \overline{\varphi(t)} - t \varphi'(t) - \psi(t) = 2\mu(g_1(t) - ig_2(t)),$$

где $\varphi(t)$, $\psi(t)$, $\varphi'(t)$, $\psi'(t)$ — граничные значения функций $\varphi(z)$, $\psi(z)$, $\varphi'(z)$, $\psi'(z)$, голоморфных в нижней полуплоскости; $\aleph$ — упругая постоянная, которая выражается по формуле $\aleph = 3 - 4\nu$ через коэффициент Пуассона ν , связанный с коэффициентом бокового давления ξ_0 соотношением $\xi_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$.

Решение этой задачи дают формулы для функций напряжения $\varphi(z)$ и $\psi(z)$, полученные Н.И. Мусхелишвили [4, с. 354, 355], при этом

$$\varphi'(z) = -\frac{\mu}{\pi \aleph i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g_1(t) + ig_2(t)}{(t - z)^2} dt \quad (1)$$

$$\text{и } \psi'(z) = \frac{\mu}{\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g_1(t) - ig_2(t)}{(t - z)^2} dt - \varphi'(z) - z\varphi''(z). \quad (2)$$

Пусть на отрезке $-a \leq t \leq a$ оси Ox задан сдвиг

$$g(t) = g_1 + ig_2 = \beta, \quad (3)$$

где β — заданное положительное действительное число и $g(t) = 0$ при остальных значениях t .

Определим напряженное состояние в нижней полуплоскости. В этом случае формулы (1) и (2) дают

$$\varphi'(z) = -\frac{\mu\beta}{\pi \aleph i} \int_{-a}^a \frac{dt}{(t - z)^2} = -\frac{2\mu a\beta}{\pi \aleph i(z^2 - a^2)}, \quad \varphi''(z) = \frac{4\mu a\beta z}{\pi \aleph i(z^2 - a^2)^2},$$

$$\psi'(z) = \frac{\mu\beta}{\pi i} \int_{-a}^a \frac{dt}{(t - z)^2} - \varphi'(z) - z\varphi''(z) = \frac{2\mu a\beta(\aleph + 1)}{\pi \aleph i(z^2 - a^2)} - \frac{4\mu a\beta z^2}{\pi \aleph i(z^2 - a^2)^2}.$$

Вычислим компоненты напряжения. Согласно [4, с. 111], имеем

$$\sigma_x + \sigma_y = 4\operatorname{Re}\varphi'(z) = \frac{16\mu a\beta xy}{\pi \aleph \left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)},$$

$$\sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy} = 2\left(\bar{z}\varphi''(z) + \psi'(z)\right) = \frac{8\mu a\beta\left(|z|^2 - z^2\right)}{\pi\aleph i\left(z^2 - a^2\right)^2} + \frac{4\mu a\beta(\aleph+1)}{\pi\aleph i\left(z^2 - a^2\right)},$$

откуда

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{8\mu a\beta xy}{\pi\aleph((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2)} + \\ + \frac{8\mu a\beta xy}{\pi\aleph} \left[\frac{4y^2(x^2-y^2-a^2) + \left((x^2-y^2-a^2)^2 - 4x^2y^2\right)}{\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)^2} \right] + \\ + \frac{4\mu a\beta xy(\aleph+1)}{\pi\aleph\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)}, \\ \sigma_y = \frac{8\mu a\beta xy}{\pi\aleph\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)} - \\ - \frac{8\mu a\beta xy}{\pi\aleph} \left[\frac{4y^2(x^2-y^2-a^2) + \left((x^2-y^2-a^2)^2 - 4x^2y^2\right)}{\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)^2} \right] - \\ - \frac{4\mu a\beta xy(\aleph+1)}{\pi\aleph\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)}, \\ \tau_{xy} = \frac{4\mu a\beta}{\pi\aleph} \left[\frac{8x^2y^2(x^2-y^2-a^2) - 2y^2\left((x^2-y^2-a^2)^2 - 4x^2y^2\right)}{\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)^2} \right] - \\ - \frac{2\mu a\beta(\aleph+1)(x^2-y^2-a^2)}{\pi\aleph\left((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2\right)}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Перепишем формулы (4) в безразмерном виде. Имеем

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\sigma_x}{2\mu} &= \frac{4\beta_a x_a y_a}{\pi \aleph \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)} + \\ &+ \frac{4\beta_a x_a y_a}{\pi \aleph} \left[\frac{4y_a^2 (x_a^2 - y_a^2 - 1) + \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 - 4x_a^2 y_a^2 \right)}{\left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)^2} \right] + \\ &+ \frac{2\beta_a x_a y_a (\aleph + 1)}{\pi \aleph \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)}, \\ \frac{\sigma_y}{2\mu} &= \frac{4\beta_a x_a y_a}{\pi \aleph \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)} - \\ &- \frac{4\beta_a x_a y_a}{\pi \aleph} \left[\frac{4y_a^2 (x_a^2 - y_a^2 - 1) + \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 - 4x_a^2 y_a^2 \right)}{\left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)^2} \right] - \\ &- \frac{2\beta_a x_a y_a (\aleph + 1)}{\pi \aleph \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)}, \\ \frac{\tau_{xy}}{2\mu} &= \frac{2\beta_a}{\pi \aleph} \left[\frac{8x_a^2 y_a^2 (x_a^2 - y_a^2 - 1) - 2y_a^2 \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 - 4x_a^2 y_a^2 \right)}{\left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)^2} \right] - \\ &- \frac{\beta_a (\aleph + 1) (x_a^2 - y_a^2 - 1)}{\pi \aleph \left((x_a^2 + y_a^2 - 1)^2 + 4y_a^2 \right)}, \end{aligned} \right. \quad (4')$$

где $\beta_a = \beta/a$, $x_a = x/a$, $y_a = y/a$ — безразмерные величины.

На рис. 1 приведены изолинии компонент горизонтального (a), вертикального (b) и касательного (c) напряжения, построенные на основании формул (4) при конкретных значениях параметров: $\beta_{10} = 0,1$, $x_{10} = 0,1x$, $y_{10} = 0,1y$, $\nu = 0,42$, что соответствует глинистым грунтам.

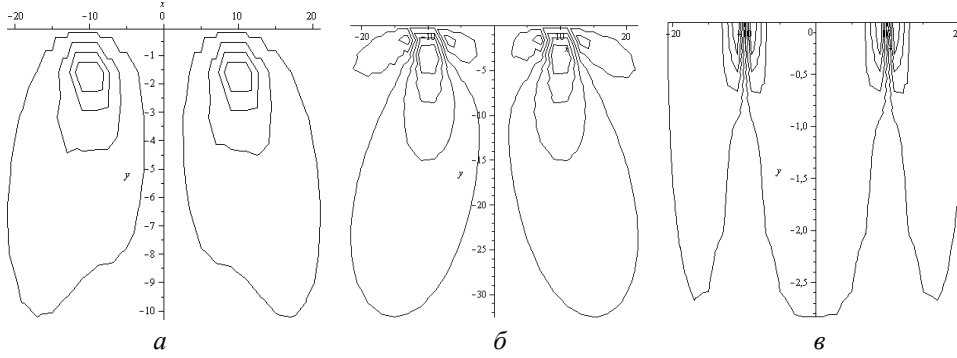


Рис. 1. Изолинии горизонтального σ_x (а), вертикального σ_y (б) и касательного τ_{xy} (в) напряжения

Для определения компонент деформации воспользуемся известными формулами [4, с. 95]

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{2\mu} \left(\sigma_x - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right), \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{2\mu} \left(\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right), \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{2\mu} \tau_{xy},\end{aligned}\tag{5}$$

где ν — коэффициент Пуассона, которые дают

$$\left\{ \begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{4a\beta xy}{\pi \left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)} + \\ &+ \frac{4a\beta xy}{\pi \aleph} \frac{4y^2 (x^2 - y^2 - a^2) + ((x^2 - y^2 - a^2) - 4x^2 y^2)}{\left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)^2}, \\ \varepsilon_y &= - \frac{4a\beta xy}{\pi \aleph \left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)} - \\ &- \frac{4a\beta xy}{\pi \aleph} \frac{4y^2 (x^2 - y^2 - a^2) + ((x^2 - y^2 - a^2) - 4x^2 y^2)}{\left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)^2}, \\ \gamma_{xy} &= \frac{2a\beta}{\pi \aleph} \left[\frac{8x^2 y^2 (x^2 - y^2 - a^2) - 2y^2 ((x^2 - y^2 - a^2) - 4x^2 y^2)}{\left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)^2} \right] - \\ &- \frac{a\beta (\aleph + 1) (x^2 - y^2 - a^2)}{\pi \aleph \left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)}.\end{aligned}\right.\tag{6}$$

На рис. 2 приведены изолинии компоненты горизонтальной (*a*) вертикальной (*б*) и касательной (*в*) деформации, построенные на основании формул (6) при конкретных значениях параметров: $a=10$, $\beta=1$, $\nu=0,42$, что соответствует глинистым грунтам.

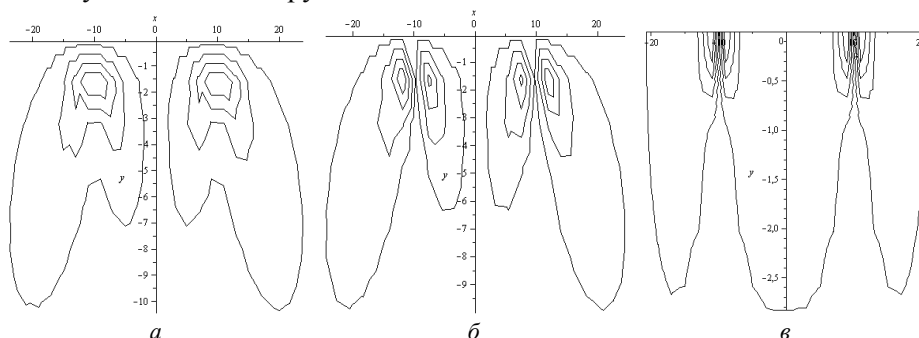


Рис. 2. Изолинии горизонтальной (*a*), вертикальной (*б*) и касательной (*в*) деформации

Компоненты деформации являются безразмерными величинами.

Ниже приведены вычисления значений вертикальных напряжений вида $\sigma_y/2\mu$ в точках полуплоскости при двух значениях величины коэффициента Пуассона ν : 0,42 и 0,30, а также значения вертикальных деформаций при $\nu=0,42$. Результаты вычислений сведены в табл. 1 и 2, по форме соответствующие таблицам из [5, с. 62]. Заметим, что все приведенные ниже значения компонент напряжения и деформации в нижней полуплоскости имеют отрицательный знак, значения, направленные в противоположную сторону, — положительный.

Т а б л и ц а 1

Значения $\sigma_y/2\mu$ от действия сдвига, равномерно распределенного по полосе
(при $a=3$, $\nu=0,42$, $\beta=1$) (глинистый грунт)

y	X									
	-1	-0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	2,5
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,005	0,002	0,000	+0,000	+0,001	+0,001	+0,002	+0,005	+0,026	+0,100
0,3	0,015	0,006	0,000	+0,001	+0,002	+0,004	+0,006	+0,015	+0,063	+0,131
0,5	0,021	0,009	0,000	+0,002	+0,003	+0,005	+0,009	+0,021	+0,068	+0,034
0,7	0,024	0,011	0,000	+0,002	+0,004	+0,007	+0,011	+0,024	+0,049	0,044
1	0,022	0,011	0,000	+0,002	+0,004	+0,007	+0,011	+0,022	+0,009	0,093

Т а б л и ц а 2

Значения $\sigma_y/2\mu$ от действия сдвига, равномерно распределенного по полосе
(при $a=3$, $\nu=0,3$, $\beta=1$) (песчаный грунт)

y	X									
	-1	-0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	2,5
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	+0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,005	0,002	0,000	+0,000	+0,001	+0,001	+0,002	+0,005	+0,023	+0,089
0,3	0,013	0,005	0,000	+0,001	+0,002	+0,003	+0,005	+0,013	+0,057	+0,133
0,5	0,019	0,008	0,000	+0,002	+0,003	+0,005	+0,008	+0,019	+0,066	+0,067
0,7	0,023	0,010	0,000	+0,002	+0,004	+0,006	+0,010	+0,023	+0,055	0,071
1	0,022	0,011	0,000	+0,002	+0,004	+0,006	+0,011	+0,022	+0,026	0,036

Т а б л и ц а 3

Значения ε_y от действия сдвига, равномерно распределенного по полосе
(при $a = 3$, $\nu = 0,42$, $\beta = 1$) (глинистый грунт)

y	x									
	-1	-0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	2,5
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,009	0,004	0,000	+0,001	+0,001	+0,002	+0,004	+0,009	+0,045	+0,177
0,3	0,026	0,011	0,000	+0,002	+0,004	+0,006	+0,011	+0,026	+0,116	+0,300
0,5	0,039	0,017	0,000	+0,003	+0,006	+0,010	+0,017	+0,039	+0,145	+0,233
0,7	0,047	0,021	0,000	+0,004	+0,008	+0,012	+0,021	+0,047	+0,139	+0,143
1	0,050	0,024	0,000	+0,005	+0,009	+0,014	+0,024	+0,050	+0,103	+0,062

Предположим, что грунтовый массив, расположенный в нижней полуплоскости, является однородным и изотропным. В этом случае можно принять, что среда является линейно-деформируемой и вычисление осадок как вертикального перемещения точек полуплоскости возможно определить при помощи теории упругости:

$$s = \int_0^y \varepsilon_y dy = H(x, 0) - H(x, y), \quad (7)$$

где $H(x, y)$ — вертикальное перемещение в точке (x, y) , а y , например, глубина сжимаемого слоя [6].

Получим формулу для осадки для случая постоянного сдвига. Имеем

$$s = -\frac{4a\beta x}{\pi\kappa} \int_0^y \frac{y}{\left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)} dy -$$

$$-\frac{4a\beta x}{\pi\kappa} \int_0^y \frac{y \left(4y^2 (x^2 - y^2 - a^2) + \left((x^2 - y^2 - a^2)^2 - 4x^2 y^2 \right) \right)}{\left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)^2} dy.$$

Пусть $|x| < a$. Вычисляя интеграл и учитывая (7), получим

$$s = \frac{4a\beta xy^2}{\pi\kappa \left((x^2 + y^2 - a^2)^2 + 4a^2 y^2 \right)}. \quad (8)$$

Анализ функции (8) показывает, что при $x = a$, $y = 0$ она имеет точку максимума, значение s в которой равно $\frac{\beta}{\pi\kappa}$. Заметим, что $s \rightarrow 0$ при $y \rightarrow -\infty$.

На рис. 3 приведены изолинии осадки для оснований, сложенных глинистым (а) и песчаным (б) грунтом, построенные на основании формулы (8), а на рис. 4 приведен график поверхности функции осадки.

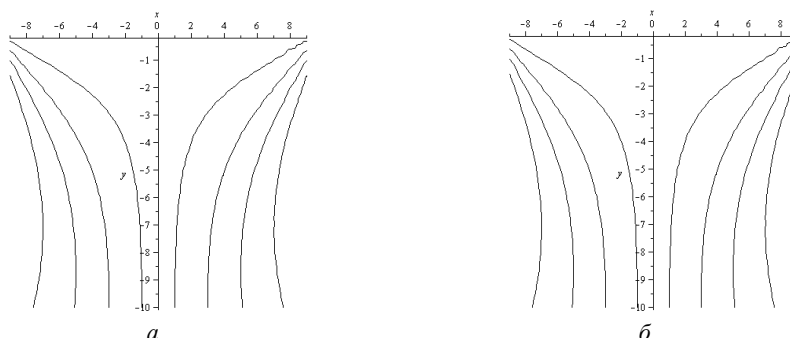


Рис. 3. Изолинии осадки S при $a = 10$, $\beta = 1$, $\nu = 0,42$ глинистого грунта (а), при $a = 10$, $\beta = 1$, $\nu = 0,3$ песчаного грунта (б)

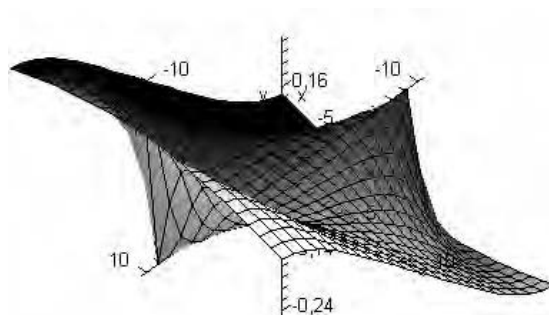


Рис. 4. График поверхности осадки S при $a = 10$, $\beta = 1$, $\nu = 0,42$ (глинистый грунт)

Ниже приведены таблицы значений осадки для глинистого и песчаного оснований с коэффициентами Пуассона, равными соответственно $\nu = 0,42$ и $\nu = 0,30$ (табл. 4, 5).

Значения осадки в нижней полуплоскости имеют отрицательный знак; значения, направленные в противоположную сторону, — положительный.

Т а б л и ц а 4
Значения S осадки от действия сдвига, равномерно распределенного по полосе (при $a = 3$, $\nu = 0,42$, $\beta = 1$) (глинистый грунт)

y	x										
	-1	-0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	2,5	3
7,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	+0,241076
0,1	0,000	0,000	0,000	+0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	+0,002	+0,009	+0,24107
0,3	0,004	0,002	0,000	+0,002	+0,001	+0,001	+0,002	+0,004	+0,019	+0,063	+0,241
0,5	0,010	0,004	0,000	+0,003	+0,002	+0,003	+0,004	+0,010	+0,046	+0,119	+0,239
0,7	0,019	0,008	0,000	+0,004	+0,003	+0,005	+0,008	+0,019	+0,075	+0,156	+0,238
1	0,034	0,015	0,000	+0,005	+0,006	+0,009	+0,015	+0,034	+0,111	+0,185	+0,235
2	0,072	0,035	0,000	+0,007	+0,014	+0,021	+0,035	+0,072	+0,160	+0,199	+0,217
3	0,080	0,040	0,000	+0,008	+0,016	+0,024	+0,040	+0,080	+0,153	+0,179	+0,193

Т а б л и ц а 5
Значения S осадки от действия сдвига, равномерно распределенного по полосе (при $a = 3$, $\nu = 0,30$, $\beta = 1$) (песчаный грунт)

y	x										
	-1	-0,5	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	2,5	3
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	+0,1768
0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	+0,002	+0,007	+0,1767
0,3	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	+0,001	+0,001	+0,003	+0,014	+0,046	+0,176
0,5	0,008	0,003	0,000	+0,001	+0,001	+0,002	+0,003	+0,008	+0,034	+0,087	+0,176
0,7	0,014	0,006	0,000	+0,001	+0,002	+0,004	+0,006	+0,014	+0,055	+0,114	+0,174
1	0,025	0,011	0,000	+0,002	+0,004	+0,006	+0,011	+0,025	+0,082	+0,136	+0,172
2	0,053	0,025	0,000	+0,005	+0,010	+0,015	+0,025	+0,053	+0,117	+0,146	+0,159
3	0,059	0,029	0,000	+0,006	+0,012	+0,018	+0,029	+0,059	+0,112	+0,131	+0,141

Выводы. 1. Получены в замкнутом виде выражения для компонент напряжения и компонент деформации второй основной граничной задачи плоской теории упругости для полуплоскости. Проведенные вычисления показывают, что значения компонент напряжения и деформации симметричны относительно начала координат и противоположны друг другу по знаку.

2. На основе компоненты вертикальной деформации получена формула осадки для горизонтального смещения границы полуплоскости. Величина осадки прямо пропорциональна величине смещения участка границы и обратно пропорциональна коэффициенту Пуассона (коэффициенту бокового давления) материала грунта.

3. Если смещение осуществляется в положительном направлении, то осадка наблюдается только в точках с отрицательными значениями абсцисс; в точках с положительными значениями абсцисс осадка будет иметь противоположный знак. При изменении знака величины смещения, прикладываемого к участку границы полуплоскости, знаки осадки меняются на противоположные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кушнер С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений. Запорожье : Запорожье, 2008.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л. : Стройиздат, 1988.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). М. : Высш. шк., 1983.
4. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966.
5. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : Стройиздат, 1985.
6. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. М. : Высш. шк., 1985.
1. Kushner S.G. Raschot deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy. Zaporozhye : Zaporozhye, 2008.
2. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty. L. : Stroyizdat, 1988.
3. Cytovich N.A. Mekhanika gruntov (kratkiy kurs). M. : Vysch. shk., 1983.
4. Mushelishvili N.I. Nekotoryye osnovnyye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. M. : Nauka, 1966.
5. Spravochnik proektirovshchika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya. M. : Stroyizdat, 1985.
6. Ivanov P.L. Grunty i osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. M. : Vyssh. shk., 1985.

© Богомолов А.Н., Ушаков А.Н., Богомолова О.А., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 624.131.53

А.Н. Богомолов, А.Ю. Фролов, В.К. Цветков

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ГРУНТ — ПОДПОРНАЯ СТЕНКА

Рассмотрено влияние подпорной стенки и равномерно распределенной нагрузки на напряженное состояние приоткосной зоны для различных видов грунтов. Получены эпюры горизонтального давления на подпорную стенку для рассмотренных вариантов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подпорная стенка, подкрепленный откос, поверхностная нагрузка, боковое давление грунта.

The influence of the retaining wall and a distributed load on the stress state slope areas for different types of soils. Obtained diagrams of horizontal pressure on a retaining wall for the options considered.

К е y w o r d s: retaining wall, stiffened slope, surface load, lateral earth pressure.

При расчетах подпорных стенок на их устойчивость и прочность перво-степенное значение имеет знание распределения бокового давления грунта по высоте стенки. Для решения этой задачи необходимо определение напряженно-деформированного состояния грунта засыпки, которое осложняется разнообразием исходных данных: геометрия стенки, физико-механические свойства грунтов засыпки и основания, различные поверхностные нагрузки и их расположение и т.д. Все это возможно учесть, используя метод конечных элементов, являющийся наиболее эффективным численным методом механики сплошной среды.

В работе используется программа [1], включающая результаты исследований [2], которые позволяют на основе решения плоских задач теории упругости методом конечных элементов определять напряжения в различных точках грунтовых массивов от воздействия собственного веса грунта и различных поверхностных нагрузок.

Выбор размеров модели, количества и размеров треугольных элементов обоснованы результатами исследований, приведенных в [2], где дается сопоставление величин напряжений, определенных в приоткосных зонах однородных откосов методом конечных элементов и точным решением соответствующих задач теории упругости.

Расчетная модель вертикального подкрепленного откоса приведена на рис. 1.

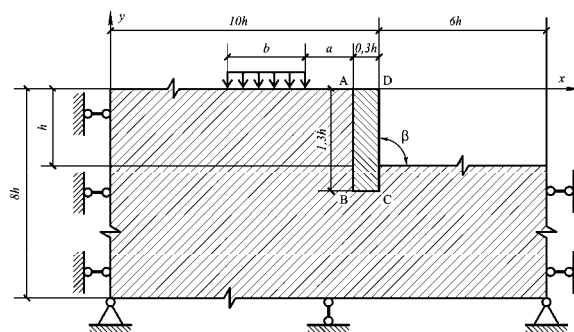


Рис. 1. Расчетная модель

Размеры модели приняты на основании известного положения теории упругости о том, что граничные условия практически не влияют на распределение напряжений, если границы области удалены от исследуемой части области не менее чем на 6 ее наибольших размеров. Так как высота откоса равна h , то вертикальный размер модели принят равным $8h$, а горизонтальный — $16h$.

Расчетная модель разбита на 24400 треугольных элементов, соединенных в 12441 узле.

Исходные данные для решения задач содержат свойства элементов (объемный вес γ , коэффициент бокового давления μ , модуль деформации E), высоту h и угол откоса β , поверхностную равномерно распределенную нагрузку интенсивностью q и граничные условия. Расчетные физико-механические характеристики грунтов принимаем согласно результатам многочисленных лабораторных исследований. Для глинистых, песчаных грунтов и «прочных» пород приняты следующие: объемный вес $\gamma = 1800, 1500, 2200 \text{ Н/м}^3$; модуль деформации $E = 65, 115, 300 \text{ МПа}$; коэффициент бокового давления $\mu = 0,75; 0,5; 0,33$. Для бетона, из которого изготовлена подпорная стенка, имеем: $\gamma = 25000 \text{ Н/м}^3$; $E = 25000 \text{ МПа}$; $\mu = 0,25$.

Граничные условия заданы следующим образом: вдоль вертикальных границ расчетной модели отсутствуют перемещения в горизонтальном направлении; вдоль нижней горизонтальной границы отсутствуют вертикальные перемещения; на перемещения других точек ограничения не наложены.

Рассмотрим откос с подпорной стенкой $ABCD$. Полагая $\gamma = 1$ и $h = 1$, получим безразмерные составляющие напряжений.

На рис. 2—4 построены изолинии горизонтальных составляющих безразмерных напряжений в ненагруженном подкрепленном откосе при различных значениях μ .

Подпорная стенка оказывает существенное влияние на перераспределение горизонтальных напряжений (рис. 2—4). Так, по сравнению с горизонтальными напряжениями, возникающими в вертикальном откосе, можно отметить уменьшение зоны растяжения в верхней части контактной грани и увеличение напряжений при приближении к подпорной стенке в средней ее части.

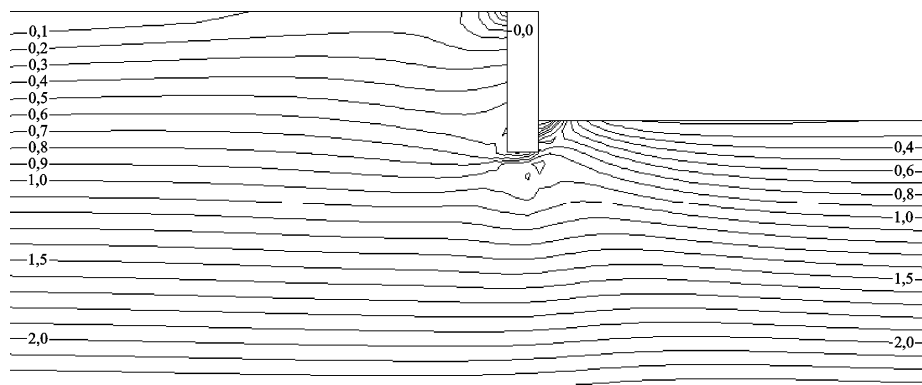
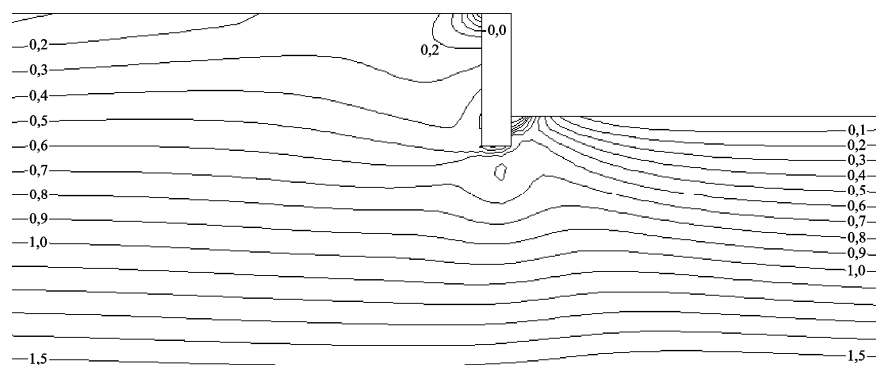
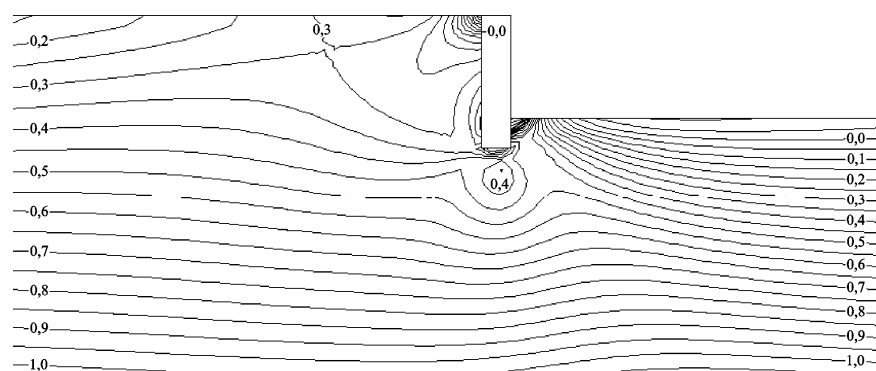


Рис. 2. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,75$

Рис. 3. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,5$ Рис. 4. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,33$

В рассматриваемом случае по контакту грунта с подпорной стенкой в верхней ее части имеются растягивающие горизонтальные напряжения, которые на дневной поверхности равны $0,41$; $0,39$ и $0,35 \gamma h$ для принятых значений μ и распространяются на глубину $0,17h$, т.е. на этом участке грунт не оказывает давление на подпорную стенку. А в нижней части стенки наблюдается уменьшение бокового давления. Максимальных значений горизонтальные напряжения достигают на расстоянии $1,1h$ и равны $0,60$; $0,52$ и $0,47 \gamma h$, а далее, к основанию стенки, убывают.

Рассмотрим влияние равномерно распределенной нагрузки $q = \gamma h$ на распределение напряжений в приоткосной зоне. Примем $a = 0,5h$, $b = h$.

Как и следовало ожидать, поверхностная нагрузка еще больше перераспределяет напряжения в сравнении с предыдущими вариантами, увеличивая давление на стенку. Горизонтальные напряжения по задней грани подпорной стенки постепенно увеличиваются и достигают максимальных значений на расстоянии h от поверхности засыпки и соответственно равны $0,767$; $0,697$ и $0,648 \gamma h$ для глинистых, песчаных грунтов и «прочных» пород, а затем убывают (рис. 5—7). В верхней же части контактной грани наблюдаются растягивающие напряжения, которые распространяются на глубину $0,17h$ и на свободной поверхности соответственно равны $0,866$; $0,806$ и $0,734 \gamma h$. Следовательно, здесь грунт не оказывает давление на стенку.

Зона растягивающих горизонтальных напряжений в подошве откоса появляется при $\mu = 0,33$ на расстоянии $0,8h$ от подпорной стенки, в которой эти напряжения достигают величины $-0,121 \gamma h$, и поэтому здесь возможно возникновение продольных трещин.

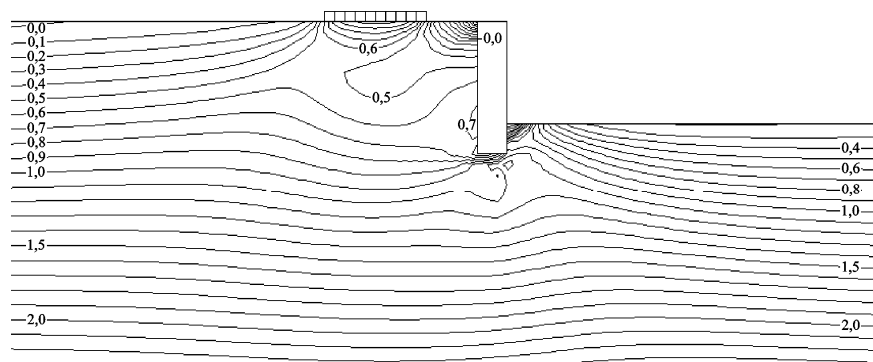


Рис. 5. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,75$

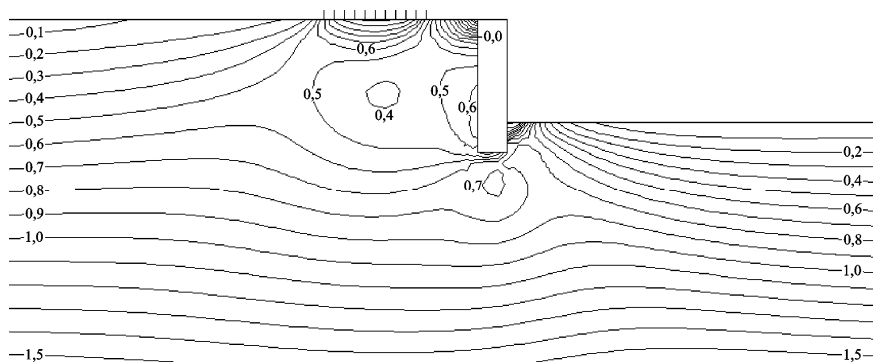


Рис. 6. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,5$

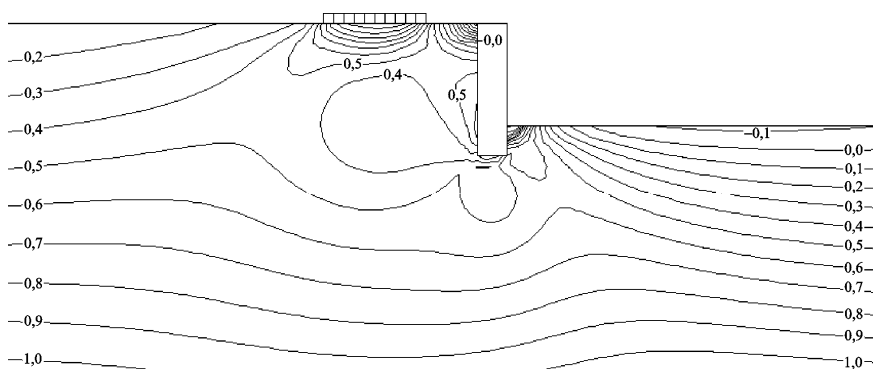


Рис. 7. Изолинии горизонтальных составляющих напряжений при $\mu = 0,33$

На рис. 8 на основе полученных результатов построены эпюры горизонтальных безразмерных напряжений по контактной грани подпорной стенки для ненагруженного (1, 2, 3) и нагруженного (1', 2', 3') подкрепленных отко-

сов для глинистых, песчаных грунтов и условно «прочных» пород. Все эпюры имеют криволинейное очертание, что подтверждается многочисленными экспериментальными данными [3, 4, 5].

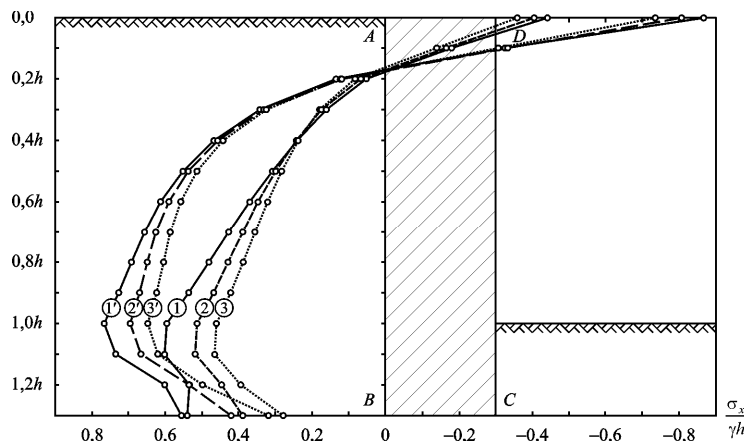


Рис. 8. Эпюры горизонтальных напряжений по контакту грунт — подпорная стенка для различных видов грунтов

Во всех случаях полученные эпюры давлений показывают уменьшение давления к основанию стены, что противоречит не только приближенной теории Кулона, но и теории В.В. Соколовского. Прежде чем использовать криволинейные эпюры давлений засыпки в практике проектирования подпорных сооружений, необходимо изучение этого явления. Причин для уменьшения давлений на нижние части стен может быть несколько [4]: влияние основания, на которое уложена обратная засыпка; влияние сил трения между сползающей частью засыпки и неподвижной массой грунта; перемещение в сторону от засыпки нижних частей стен и др.

Вопрос о форме эпюр давлений грунта в зависимости от различных условий работы подпорной стены, который влияет на устойчивость системы грунт — подпорная стенка, требует дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А.Н., Ушаков А.Н., Редин А.В. Программа «Устойчивость» для ПЭВМ: информационный листок о научно-техническом достижении № 312-96 / ЦНТИ. Волгоград, 1996.
 2. Цветков В.К. Расчет рациональных параметров горных выработок. М.: Недра, 1993. 251 с.
 3. Чеботарев Г.П. Механика грунтов, основания и земляные сооружения. М.: Стройиздат, 1968. 590 с.
 4. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. М.: Стройиздат, 1977. 256 с.
 5. Дуброва Г.А. Взаимодействие грунта и сооружений. М.: Речной транспорт, 1963. 219 с.
1. Bogomolov A.N., Ushakov A.N., Redin A.V. Programma «Ustoychivost'» dlya PEVM : informacionnyy listok o nauchno-tehnicheskom dostizhenii № 312-96 / TsNTI. Volgograd, 1996.
 2. Tsvetkov V.K. Raschet ratsional'nykh parametrov gornykh vyrobotok. M.: Nedra, 1993. 251 s.
 3. Chebotarev G.P. Mekhanika gruntov, osnovaniya i zemlyanyye sooruzheniya. M.: Stroyizdat, 1968. 590 s.
 4. Kleyin G.K. Stroitel'naya mekhanika sypuchikh tel. M.: Stroyizdat, 1977. 256 s.
 5. Dubrova G.A. Vzaimodeystviye grunta i sooruzheniy. M.: Rechnoy transport, 1963. 219 s.

© Богомолов А.Н., Фролов А.Ю., Цветков В.К., 2011

Поступила в редакцию в январе 2011 г.

УДК 539.3 : 519.6

Х.П. Культербаев, О.В. Исламова**ВЫНУЖДЕННЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ И СЛУЧАЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТРУНЫ, ДВИЖУЩЕЙСЯ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ**

Рассмотрена однородная струна, движущаяся в продольном направлении. Изучены вынужденные колебания при кинематических возмущениях. При гармонических возмущениях исследовано влияние частоты и сдвига фаз на амплитуды и формы колебаний. При случайных стационарных векторных возмущениях определены спектральная плотность отклонений и дисперсия. Выявлены зависимости параметров отклонений от корреляционной матрицы возмущений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: струна, колебания, сдвиг фаз, корреляционная матрица, дисперсия.

The homogeneous string moving in lengthwise direction is described. Forced motion at kinematic gusts is explored. The influence of velocities and quarters phases on amplitude of oscillation and coupled modes are analyzed at harmonic gust. Fourier density and dispersion are defined for stationary random vector gusts. Depending on the parameters of departures from the correlation gusts array are identified.

К e y w o r d s: string, vibration, quarters phases, correlation array, dispersion.

Динамика процессов во многих элементах сооружений и строительного оборудования представляется колебаниями гибких конструкций в виде струны или нити (линии передач, транспортные ленты, несущие и поддерживающие элементы висячих конструкций и мачтово-башенных сооружений, элементы гибких силовых передач в оборудовании и т.д.) [1]. Существуют проблемы как уменьшения интенсивности колебаний, так и ее увеличения (например, в технологических процессах грохочения и транспортирования в вибрационно-технологических машинах) [2—4].

Рассмотрим однородную струну длиной l , движущуюся в продольном направлении со скоростью v (рис. 1). Функцию перемещений струны в поперечном направлении обозначим $u(x, t)$ и примем ее значения достаточно малыми, что позволит считать углы наклона касательных к изогнутой оси равными первой производной по x , а кривизну изогнутой оси равной второй производной.

Основное уравнение динамики струны, движущейся в продольном направлении, имеет вид

$$\ddot{u} + 2\varepsilon\dot{u} + 2v\dot{u}' + (v^2 - \eta^2)u'' = 0, \quad (1)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), t \in R^1\}, t > -\infty,$$

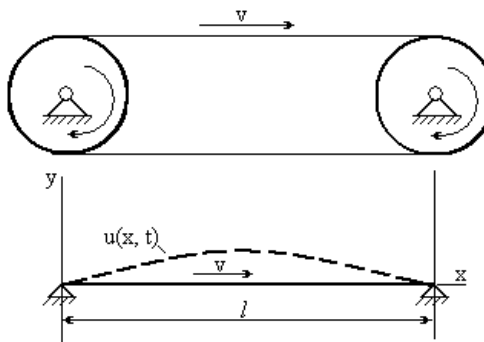


Рис. 1

$\varepsilon = \gamma/2$, $\eta = \sqrt{N/m}$ — скорость распространения поперечных волн по струне; $m = \rho A$ — удельная линейная масса; ρ — плотность материала; A — площадь поперечного сечения; γ — коэффициент удельного линейно-вязкого трения; N — сила натяжения.

Далее будем рассматривать установившиеся колебания, поэтому начальные условия к уравнению (1) не требуются. Граничные условия имеют вид

$$u(0, t) = f_1(t), u(l, t) = f_2(t), t > -\infty, \quad (2)$$

где $f(t) = \{f_1(t), f_2(t)\}$ — заданная вектор-функция.

Математическая модель (1), (2) описывает класс разнообразных задач о колебаниях. Если, например, векторный процесс возмущений $f(t) = \{f_1(t), f_2(t)\} \equiv 0$, модель соответствует свободным колебаниям; если хотя бы одна из компонент вектора возмущений отлична от нуля — вынужденным колебаниям. Ниже будут рассматриваться вынужденные колебания при гармонических и случайных возмущениях.

1. *Вынужденные колебания при гармонических возмущениях.* Вынужденные детерминистические колебания струны в установившемся режиме при гармонических (кинематических) возмущениях описываются задачей (1), (2), где

$$f_k(t) = a_k e^{j(\Omega_k t + \psi_k)}, k = 1, 2, \quad (3)$$

a_k — действительная амплитуда; Ω_k — частота возмущения; ψ_k — начальная фаза колебаний. В формуле (3) упростим описания возмущений

$$a_k e^{j(\Omega_k t + \psi_k)} = A_k e^{j\Omega_k t}, A_k = a_k e^{j\psi_k}.$$

Здесь A_k — комплексная амплитуда возмущения.

Поскольку система является линейной, будем пользоваться принципом суперпозиции в виде

$$u(x, t) = u_1(x, t) + u_2(x, t),$$

где $u_k(x, t)$ — функция перемещений при автономном действии возмущения $f_k(t)$. Дополнительным основанием для такого подхода является то, что некоторые из результатов при этом могут быть использованы и далее в стохастической задаче.

Реализацию принципа суперпозиции удобно осуществить в следующем порядке. Решить две автономные задачи, когда на систему действует лишь одно из воздействий и оно с единичной амплитудой $e^{j\Omega_k t}$. В результате будут найдены гармоники $w_k(x, t)$, $k = 1, 2$. Решение исходной задачи будет суммой (скалярным произведением векторов)

$$u(x, t) = (A, w). \quad (4)$$

Рассмотрим упомянутые автономные задачи. Задача о колебаниях струны, кинематически возбуждаемых на правом конце, имеет вид

$$\ddot{w}_2 + 2\varepsilon\dot{w}_2 + 2v\dot{w}_2' + (v^2 - \eta^2)w_2'' = 0, \quad (5)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), t \in R^1\}, t > -\infty,$$

$$w_2(0, t) = 0, w_2(l, t) = e^{j\Omega_2 t}, t > -\infty. \quad (6)$$

Ее решение примем как произведение

$$w_2(x, t) = H_2(x, j\Omega_2) e^{j\Omega_2 t}, \quad (7)$$

где $H_2(x, j\Omega_2)$ — передаточная функция. Подставим (7) в (5), (6) и получим соответствующую краевую задачу

$$\Lambda H_2 + 2v(j\Omega_2)H_2' + (v^2 - \eta^2)H_2'' = 0, \quad \Lambda = (j\Omega_2)^2 + 2\varepsilon(j\Omega_2), \quad (8)$$

$$H_2(0, j\Omega_2) = 0, \quad H_2(l, j\Omega_2) = 1.$$

Двухточечную краевую задачу (8) заменим конечноразностной схемой и придем к системе линейных алгебраических уравнений

$$By = d, \quad (9)$$

где B — квадратная матрица порядка n , элементы которой определяются процедурой метода; $d^T = \{0, 0, \dots, 0, 1\}$. Решение (9) находится методом прогонки [5] и представляет собой сеточную передаточную функцию $y(x_i) \approx H_2(x_i)$.

Задача о колебаниях струны, кинематически возбуждаемых на левом конце, имеет вид

$$\ddot{w}_1 + 2\varepsilon\dot{w}_1 + 2v\dot{w}_1' + (v^2 - \eta^2)w_1'' = 0, \quad (10)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), t \in R^1\}, t > -\infty,$$

$$w_1(0, t) = e^{j\Omega_1 t}, w_1(l, t) = 0, t > -\infty. \quad (11)$$

Ее решение получается с помощью зеркального отражения решения предыдущей задачи.

При равенстве частот, т.е. $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega$, суммарные колебания будут гармоническими и формула (4) примет вид

$$u(x, t) = [A, H(x, j\Omega)] e^{j\Omega t}. \quad (12)$$

Соответствующая амплитуда выписывается легко:

$$a_u(x) = |[A, H(x, j\Omega)]|. \quad (13)$$

В формулы (12), (13) подставляются конечноразностные аналоги в виде вектора y вместо передаточных функций $H_i(x, j\Omega)$.

Обратимся теперь к конкретным вычислениям.

Пример 1. Расчеты проведем на примере клиноременной передачи одно-кривошипного открытого пресса, имеющей характеристики:

$$l = 1,8 \text{ м}, N = 600 \text{ Н}, v = 20,5 \text{ м/с}, m = 0,30 \text{ кг/м}.$$

Пусть характеристики возмущений будут следующими:

$$a_1 = 10 \text{ мм}, a_2 = 5 \text{ мм}.$$

Спектры собственных частот и форм, коэффициент затухания определены в [6]. В частности, $\omega = \{61,6; 123,3; 185,0\} \text{ с}^{-1}$, $\mu = 0,04 \text{ с}^{-1}$.

Сначала рассмотрим негармонические колебания, когда частоты и начальные фазы возмущений имеют значения $\Omega = \{15, 7\pi\} \text{ с}^{-1}$, $\psi = \{0, 0\}$.

Принимая во внимание первые элементы спектра собственных частот, приведенные выше, следует ожидать, что колебания будут происходить по первой собственной форме.

Для середины струны ($x = l/2$) проведены вычисления по формуле (4) при $t \in [0, 3] \text{ с}$, результаты представлены кривой (рис. 2). Видно, что колебания

носят негармонический непериодический характер и представляют собой сумму двух гармоник.

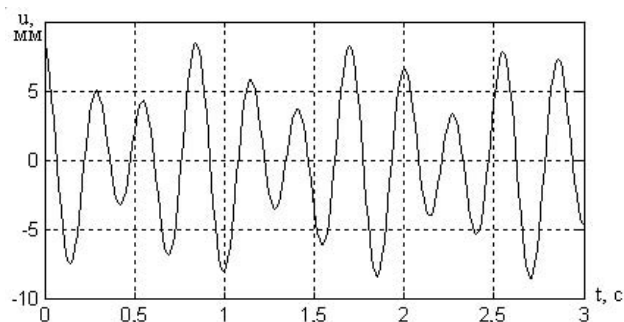


Рис. 2

При этом также можно заметить, что на колебания от возмущения левого конца с периодом $T_1 = 0,418$ с и сравнительно большой амплитудой накладываются колебания с меньшим периодом $T_2 = 0,285$ с от кинематических возмущений правого конца.

Теперь изучим влияние сдвига фаз возмущений на вынужденные колебания. С этой целью проведены вычисления по тем же схемам и результаты представлены кривыми рис. 3. При фиксированной частоте возмущений Ω и прежних значениях других параметров рассмотрены четыре случая различных сочетаний начальных фаз

$$\Omega = 30 \text{ с}^{-1}, a_1 = 10 \text{ мм}, a_2 = 10 \text{ мм}.$$

$$\psi = \{0, 0\} \text{ (кривая 1)}, \psi = \{0, \pi/2\} \text{ (2)}, \psi = \{0, \pi/4\} \text{ (3)}, \psi = \{0, \pi\} \text{ (4)}.$$

Кривая 1 соответствует идеально синфазным возмущениям, одновременно имеющим одинаковые направления. Поэтому амплитуды являются наибольшими по всей серии вычислений. Кривые 2 и 3 показывают переход от идеально синфазных возмущений к противофазным (кривая 4).

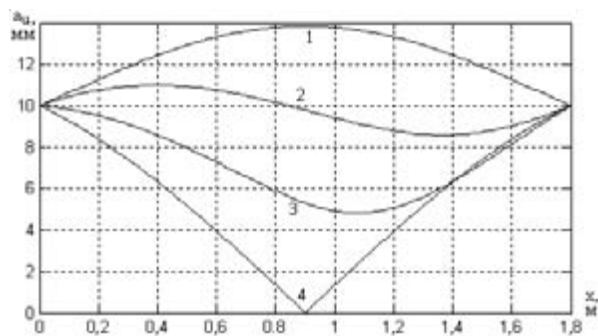


Рис. 3

Рассмотрим тот же пример при $\Omega = 80 \text{ с}^{-1}$ (рис. 4), при сохранении остальных параметров. Частота возмущений теперь находится между первой и второй собственными частотами, амплитуды колебаний увеличились и при этом, как и следовало ожидать, колебательный процесс проходит уже при значительном влиянии второй собственной формы.

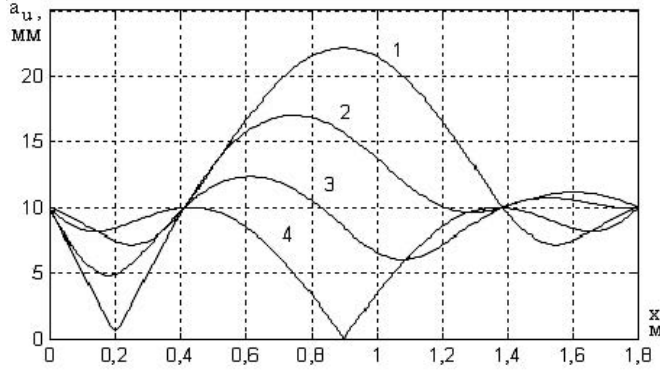


Рис. 4

Очевидным является следующий *вывод*: величины амплитуд колебаний и формы их распределения вдоль оси существенно зависят от частоты возмущений и сдвига их фаз.

2. *Вынужденные колебания при случайных возмущениях.* Задача о случайных колебаниях в общей постановке имеет вид

$$\ddot{u} + 2\epsilon u + 2\nu\dot{u}' + (v^2 - \eta^2)u'' = 0, \quad (14)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), t \in R^1\}, \quad t > -\infty,$$

$$u(0, t) = f_1(t), u(l, t) = f_2(t), t > -\infty. \quad (15)$$

Возмущения являются стационарным и векторным случайным процессом $f(t) = \{f_1(t), f_2(t)\}$ со стационарно связанными компонентами, с нулевым математическим ожиданием, с заданной спектральной матрицей

$$S_f(\omega) = \begin{pmatrix} s_{11}(\omega) & s_{12}(\omega) \\ s_{21}(\omega) & s_{22}(\omega) \end{pmatrix}, \quad s_{ij}(\omega) = s_{ji}^*(\omega), \quad (16)$$

обладающей свойством эрмитовости. Тогда в установившемся режиме $u(x, t)$ будет центрированным пространственно-временным случайным полем, стационарным во времени и неоднородным по пространственной координате. По заданной спектральной матрице входного случайного процесса необходимо найти спектральную плотность и дисперсию выходного процесса.

Для определения спектральной плотности используются ранее найденные для гармонических колебаний передаточные функции

$$H_i(x, j\Omega_i), \quad i = 1, 2.$$

Искомая спектральная плотность случайного процесса выписывается в виде

$$S_u(x, \omega) = \sum_i \sum_k H_i(x, j\omega) H_k^*(x, j\omega) s_{ik}(\omega). \quad (17)$$

Здесь фиксированное значение частоты детерминистических возмущений Ω_i в $H_i(x, j\Omega_i)$, $i = 1, 2$ заменено непрерывной величиной $\omega \in R^1$.

Для определения дисперсии применяется известная формула

$$D_u(x) = 2 \int_0^\infty S_u(x, \omega) d\omega. \quad (18)$$

Подынтегральная функция $S_u(x_i, \omega)$ чаще всего является такой, что интеграл в (18) оказывается нетабличным и вычислить его аналитическими методами затруднительно. Поэтому используются численные методы. Возникающие при этом сложности выбора предела и шага интегрирования разрешаются с помощью численных экспериментов.

Пример 2. Для выполнения вычислений возьмем ремень, который рассмотрен выше и имеет параметры

$$l = 1,8 \text{ м}, n = 201, N = 600 \text{ Н}, v = 20,5 \text{ м/с}, m = 0,30 \text{ кг/м}, \gamma = 0,1 \text{ с}^{-1}.$$

$$\sigma_1 = 10 \text{ мм}, \sigma_2 = 5 \text{ мм},$$

причем σ_i — среднеквадратические отклонения процессов $f_i(t)$.

Для проверки достоверности расчетов возьмем возмущения в виде стационарного векторного процесса со стационарно связанными компонентами со скрытой периодичностью. Тогда элементы матрицы (16) имеют вид

$$S_{ik}^f = \frac{2\alpha_{ik}\theta_{ik}^2\rho_{ik}\sigma_j\sigma_k}{\pi\left[\left(\omega^2 - \theta_{ik}^2\right)^2 + 4\alpha_{ik}^2\omega^2\right]}, \theta_{ik}^2 = \alpha_{ik}^2 + \beta_{ik}^2, i, k = 1, 2.$$

Здесь α_{ik} и β_{ik} — параметры широкополосности и характерной частоты; ρ_{ik} — элементы нормированной корреляционной матрицы.

Рассмотрим влияние коррелированности компонентов вектора случайных возмущений на колебания по аналогии с изучением роли сдвига фаз возмущений в детерминистической задаче. Зафиксируем параметры характерных частот и широкополосности на значениях

$$\beta_{jk} = 30 \text{ с}^{-1}, \alpha_{jk} = 0,1 \text{ с}^{-1}, j, k = 1, 2, 3.$$

Среднеквадратические отклонения возмущений возьмем равными действительным амплитудам гармонических возмущений при изучении влияния сдвига фаз на гармонические колебания $\sigma_1 = 10 \text{ мм}, \sigma_2 = 10 \text{ мм}$.

Четыре случая сдвига фаз возмущений, имевшие место в детерминистической задаче, промоделируем с помощью четырех соответствующих нормированных корреляционных матриц

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, P_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, P_3 = \begin{pmatrix} 1 & -0,7 \\ -0,7 & 1 \end{pmatrix}, P_4 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Результаты вычислений приведены на рис. 5. Номера кривых соответствуют номерам корреляционных матриц. Сравнение кривых рис. 3 и 5 показывает их аналогию. Отсюда делается вывод, что нормированная корреляционная матрица в случайных колебаниях имеет такое же влияние на среднеквадратические отклонения, что и сдвиги фаз возмущений в гармонических колебаниях на амплитуды колебаний.

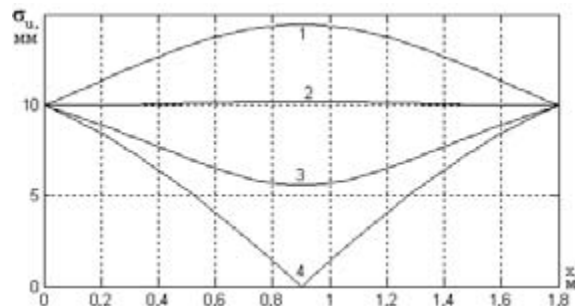


Рис. 5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вerezub B.N., Lazarev A.I.* Динамика движущейся бесконечной ленты на колеблющихся опорах // Мат. методы анализа динамических систем. 1981. № 5. С. 72—75.
2. *Орлов А.Н.* Способ гашения поперечных колебаний груза на канатах для кранов мостового и стрелового типов // Фундаментальные исследования в технических университетах : матер. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 16—17 июня 1997 г. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1997. С. 339—340.
3. *Miyoshi K., Okuna K., Sugahara J.* New method for reducing vertical vibration // Elevatori. 1996. 25. № 3. S. 70—72.
4. *Zhang Changyou, Zhu Changming, Lin Zhongqin.* Suppression strategy for parametrically excited lateral vibration of mass-loaded string // J. Southeast Univ. 2004. 20, № 2. S. 165—169.
5. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. 656 с.
6. *Культербаев Х.П., Исламова О.В., Тхагапсов А.Х.* Определение спектров свободных колебаний движущейся струны численными методами // Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Сер.: Технические науки. 2008. Вып. 6. II. С. 14—18.

1. *Verezub V.N., Lazarev A.I.* Dinamika dvizhushcheysya beskonechnoy lenty na koleblushchikhsya oporakh // Mat. metody analiza dinamicheskikh system. 1981. № 5. S. 72—75.
2. *Orlov A.N.* Sposob gasheniya poperechnykh kolebaniy gruzha na kanatakh dlya kranov mostovogo i strelovogo tipov // Phundamental'nyye issledovaniya v technicheskikh universitetah : materialy nauch.-techn. konf., Sankt-Peterburg, 16—17 iunya 1997 g. SPb. : Izd-vo SPbGTU, 1997. S. 339—340.
3. *Miyoshi K., Okuna K., Sugahara J.* New method for reducing vertical vibration // Elevatori. 1996. 25. № 3. S. 70—72.
4. *Zhang Changyou, Zhu Changming, Lin Zhongqin.* Suppression strategy for parametrically excited lateral vibration of mass-loaded string // J. Southeast Univ. 2004. 20, № 2. S. 165—169.
5. *Samarskiy A.A.* Teoriya raznostnykh shem. M. : Nauka, Gl. Red. phis.-mat. lit., 1997. 656 s.
6. *Kulterbaev H.P., Islamova O.V., Thagapsov A.H.* Opredeleniye spektrov svobodnykh kolebaniy dvizhushcheysya struny chislennymi metodami // Vestnik Kabardino-Balkarskogo gosuniversiteta. Ser. Tehnicheskie nauki. Vyp. 6. II. Nalchik : Kab.-Balk. un-t, 2008. S. 14—18.

© Культербаев Х.П., Исламова О.В., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 539.3

О.В. Исламова**СЛУЧАЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МЕМБРАН ПРИ РАЗНОТИПНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

Предложена математическая модель колебаний мембраны, прямоугольной в плане. Источниками колебаний являются распределенная поперечная нагрузка и кинематические возмущения контура. Методом Бубнова — Галёркина получены передаточные функции для каждого типа возмущений, далее использованные для решения стохастической краевой задачи. Входные случайные процессы представлены двумя типами: со скрытой периодичностью и экспоненциально-коррелированным. Предложен способ формирования спектральной матрицы двухмерного случайного процесса. Определены спектральная матрица и дисперсия отклонений мембраны.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мембрана, спектральная матрица, дисперсия.

Mathematical model of vibration of membrane, rectangular in plan is offered. Divided transverse load and kinematic ambient dithering are vibration sources. Transfer functions for every dithering type, then used for stochastic boundary-value problem solution, are obtained by Bubnov — Galerkin method. Input random processes are presented two types: with latent periodicity and exponentially correlated. The method formation of spectral matrix of two-dimensional random process method is offered. Spectral matrix and dispersion deflection membrane are determined.

Key words: membrane, spectral matrix, dispersion.

Широкое применение мембран во многих отраслях техники, строительства, сельского хозяйства вызвало повышение интереса специалистов к изучению детерминистических и стохастических колебаний [1, 2]. С помощью модели мембран могут быть описаны колебания ленточных транспортеров, движущихся лент (полотнищ) бумаги, целлюлозы, тканей, гибких элементов в висячих конструкциях покрытий зданий большого пролета, наружных ограждений зданий и сооружений, мягких пневмоконструкций строительных сооружений и т.д.

Для имитирования колебаний мембран предложены разнообразные механические и математические модели [3, 4].

Поперечные колебания прямоугольной мембраны описываются дифференциальным уравнением в частных производных гиперболического типа:

$$u_{tt} + 2\varepsilon u_t - a^2 \Delta u = f_1(x, y, t), \quad (x, y) \in Q = \{(x, y): x \in (0, l_1), y \in (0, l_2)\}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \gamma/2, \quad a^2 = \sigma/\rho, \quad f_1(x, y, t) = q(x, y, t)/\rho h.$$

Здесь ρ — плотность материала; h — толщина пленки; $u(x, y, t)$ — поперечное отклонение мембраны, x, y, t — пространственные и временная координаты; γ — удельный коэффициент вязкого трения; σ — напряжение в сечении мембраны; $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ — двухмерный оператор Лапласа; $q(x, y, t)$ — нагрузка, распределенная по поверхности; l_1, l_2 — размеры мембраны в плане.

К уравнению (1) добавляются граничные условия

$$U(x, y, t) = f_2(x, y, t), \quad (x, y) \in \Gamma, \quad t > -\infty. \quad (2)$$

Для установившихся колебаний, рассматриваемых ниже, начальные условия не требуются.

Сначала рассмотрим вынужденные гармонические колебания. Функции поперечной нагрузки $f_1(x, y, t)$ и кинематического возмущения контура $f_2(x, y, t)$ представим в виде произведений

$$f_k(x, y, t) = A_k(x, y)e^{j\Omega_k t}, \quad A_k(x, y) = a_k(x, y)e^{j\psi_k}, \quad k = 1, 2,$$

где $a_k(x, y)$, $A_k(x, y)$ — действительная и комплексная функции амплитуд возмущений; Ω_k , ψ_k — частота и начальная фаза возмущений.

Удобно как для решения задачи, так и дальнейшего анализа получаемых результатов разбить ее на две самостоятельные автономные задачи. В первой источником колебаний будет динамическая нагрузка $f_1(x, y, t)$ при $f_2(x, y, t) \equiv 0$, т.е. кинематическое возмущение отсутствует. Во второй задаче наоборот: $f_1(x, y, t) \equiv 0$, $f_2(x, y, t) \neq 0$. Линейность оператора задачи (1), (2) позволяет впоследствии воспользоваться принципом суперпозиции, т.е. получить общее решение в виде суммы

$$U(x, y, t) = u_1(x, y, t) + u_2(x, y, t),$$

где $u_1(x, y, t)$, $u_2(x, y, t)$ — решения автономных задач.

Примем решение первой задачи как произведение искомой передаточной функции $H_1(x, y, j\Omega)$ и гармоники

$$u_1(x, y, t) = H_1(x, y, j\Omega)e^{j\Omega t}, \quad (3)$$

где $H_1(x, y, j\Omega)$ — искомая передаточная функция. Подставим (3) в (1), (2) и получим краевую задачу Дирихле

$$b^2 H_1 - a^2 \Delta H_1 = A_1(x, y), \quad (x, y) \in Q, \quad b^2 = (j\Omega)^2 + 2\varepsilon(j\Omega), \quad (4)$$

$$H_1(x, y, j\Omega) = 0, \quad (x, y) \in \Gamma. \quad (5)$$

Неоднородное уравнение Гельмгольца (4) относится к типу эллиптических и не имеет точного решения. Воспользуемся методом Бубнова — Галёркина и представим $H_1(x, y, j\Omega)$ в виде разложения в ряд

$$H_1(x, y, j\Omega) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} c_{mn}(j\Omega) \varphi_{mn}(x, y),$$

где $\varphi_{mn}(x, y)$ — элементы спектра собственных форм. Процедура метода дает формулу для коэффициентов c_{mn} .

Аналогичное решение второй задачи приводит к передаточной функции

$$H_2(x, y, j\Omega) = A_2(x, y) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N d_{mn}(j\Omega) \varphi_{mn}(x, y)$$

с соответствующими коэффициентами d_{mn} .

По множеству причин возмущения могут быть случайными во времени и по пространственным координатам (пространственно-временные случайные поля). Поэтому перейдем к изучению вынужденных случайных колебаний. Возьмем тот частный случай, когда возмущения будут стационарными и стационарно связанными случайными процессами во времени, оставаясь детерминистически связанными по пространственным координатам. Тогда они представимы в виде

$$f_k(x, y, t) = a_k(x, y)q_k(t), \quad k = 1, 2, \dots,$$

где $a_k(x, y)$ — неслучайные функции; $q_k(t)$ — стационарные и стационарно связанные компоненты случайного векторного процесса $\mathbf{q}(t) = \{q_1(t), q_2(t)\}$.

Теперь $u(x, y, t)$ — выходной стационарный случайный процесс, вероятностные характеристики которого необходимо найти; $\mathbf{q}(t)$ — центрированный случайный процесс с заданной спектральной матрицей

$$S_q(\omega) = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix},$$

которая является эрмитовой, т.е. $s_{12} = s_{21}^*$.

Зачастую компоненты такого процесса являются разнотипными. Пусть $q_1(t)$ будет процессом со скрытой периодичностью (характерной частотой), со спектральной плотностью

$$s_{11}(\omega) = \frac{2\alpha\sigma_1^2\theta^2}{\pi \left[(\omega^2 - \theta^2)^2 + 4\alpha_1^2\omega^2 \right]}, \quad \theta^2 = \alpha_1^2 + \beta^2, \quad \omega \in \Omega = (-\infty, \infty), \quad (6)$$

где σ_1 — среднеквадратическое отклонение; α, β — параметры широкополосности и характерной частоты. Процесс $q_2(t)$ возьмем в виде экспоненциально-коррелированного случайного процесса со спектральной плотностью

$$s_{22}(\omega) = \frac{\sigma_2^2\alpha_2}{\pi(\alpha_2^2 + \omega^2)}, \quad \omega \in \Omega = (-\infty, \infty), \quad (7)$$

где σ_2 — среднеквадратическое отклонение.

Взаимную спектральную плотность образуем в виде

$$s_{12}(\omega) = \rho_{12}s_1(\omega)s_2^*(\omega), \quad \omega \in (-\infty, \infty).$$

Здесь ρ_{12} — коэффициент корреляции компонентов векторного процесса, другие сомножители следуют из соотношений (6), (7):

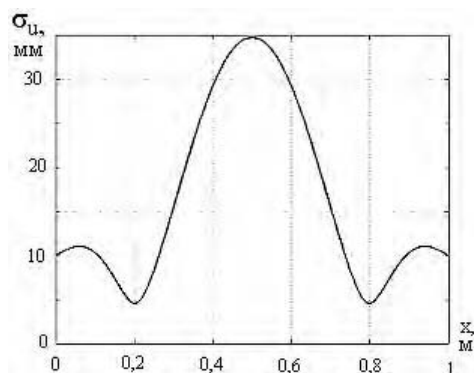
$$s_1(\omega) = \frac{\sqrt{2\alpha_1}\sigma_1\theta}{\sqrt{\pi}[(j\omega)^2 + 2\alpha_1(j\omega) + \theta^2]}, \quad s_2(\omega) = \frac{\sigma_2\sqrt{\alpha_2}}{\sqrt{\pi}(\alpha_2 + j\omega)}.$$

Спектральную плотность и дисперсию выходного процесса для стационарного режима колебаний найдем по формулам

$$S_u(x, y, \omega) = H^m(x, y, j\omega)S_q(\omega)H^*(x, y, j\omega), \quad D_u(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} S_u(x, y, \omega)d\omega.$$

Результаты вычислений среднеквадратических отклонений $\sigma_u(x, y)$ для квадратной мембраны с параметрами $\gamma = 1 \text{ с}^{-1}$, $l_1 = 1 \text{ м}$, $l_2 = 1 \text{ м}$; $\sigma = 10 \text{ кПа}$, $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$, $\sigma_1 = 10 \text{ мм}$, $\sigma_2 = 10 \text{ мм}$, $M = 101$, $N = 101$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 25 \text{ с}^{-1}$ представлены графиком на рисунке.

Кривая соответствует сечению по оси симметрии.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М. : Гостехиздат, 1956. 419 с.
 2. Investigation of the free vibration of a rectangular membrane / R.K. Singhal, D.J. Gorman, J.M. Crawford, W.B. Graham // AIAA Journal. 1994. 32, № 12. С. 2456—2461.
 3. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. 2-е изд. М. : Наука, 1969. 288 с.
 4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М. : Наука, 1972. 735 с.
-
1. Volmir A.S. Gibkiye plastinki i obolochki. M. : Gostekhizdat, 1956. 419 s.
 2. Investigation of the free vibration of a rectangular membrane / R.K. Singhal, D.J. Gorman, J.M. Crawford, W.B. Graham // AIAA Journal. 1994. 32, № 12. С. 2456—2461.
 2. Aramanovich I.G., Levin V.I. Uravneniya matematicheskoy phiziki. 2-e izd. M. : Nauka, 1969. 228 s.
 3. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. Uravneniya matematicheskoy phiziki. M. : Nauka, 1972. 735 s.

© Исламова О.В., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 697:112.3

А.Н. Жуков, А.Г. Перехоженцев, В.А. Власов

**ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОГО КЕРАМИЧЕСКОГО УТЕПЛИТЕЛЯ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УЧАСТКОВ
СУЩЕСТВУЮЩИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Приведены расчетные значения температур внутренней поверхности для несущих наружных стен на неоднородных участках. Выработаны рекомендации по применению жидкого утеплителя.

Ключевые слова: жидкий утеплитель, неоднородные участки, несущие наружные стены, ограждающие конструкции.

The calculated values of temperatures inside surface for non-bearing exterior walls on heterogeneous stretches are described. Recommendations on the application of the liquid insulat are formulated.

Key words: liquid insulant, heterogeneous stretches, non-bearing exterior walls, building envelope.

Одним из важнейших факторов, влияющих на параметры микроклимата, несомненно, является качество выполнения и теплофизические характеристики ограждающих конструкций. Соблюдение методик СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий» [1] при проектировании и расчете ограждающих конструкций зданий не гарантирует обеспечение должного качества микроклимата, так как при расчете по СНиП 23-02—2003 [1] и СП 23-101—2004 [2] невозможно в полной мере учесть неоднородность и нелинейность наружных стен или покрытия.

В настоящее время все чаще в жилищном строительстве применяют здания с каркасом из монолитного железобетона с несущими трехслойными стенами. К сожалению, нет однозначной методики или правил теплотехнического проектирования таких конструкций, поэтому, чтобы учесть влияние всех неоднородностей, проектировщики закладывают большой запас, выражающийся в увеличении толщины утеплителя, что ведет к большому расходу материала и удорожанию строительства.

Но даже с удвоенной толщиной утеплителя на внутренней поверхности выступающего угла на стыке с монолитным перекрытием могут возникнуть температуры ниже «точки росы».

Задачей исследования явилось определение эффективности применения жидкого утеплителя «Корунд» в качестве дополнительного утеплителя стыков стен с монолитным перекрытием.

Для наглядного примера на рис. 1 приведены тепловизионные снимки внутренней поверхности выступающего угла наружных стен существующего здания.

На стадии проектирования опытные разработчики проектируют в межэтажном перекрытии отверстия с последующей закладкой в них термовкладышей. Если такие меры не приняты, при эксплуатации здания выступает конденсат на стенах, поэтому необходимо применение дополнительного утепления.

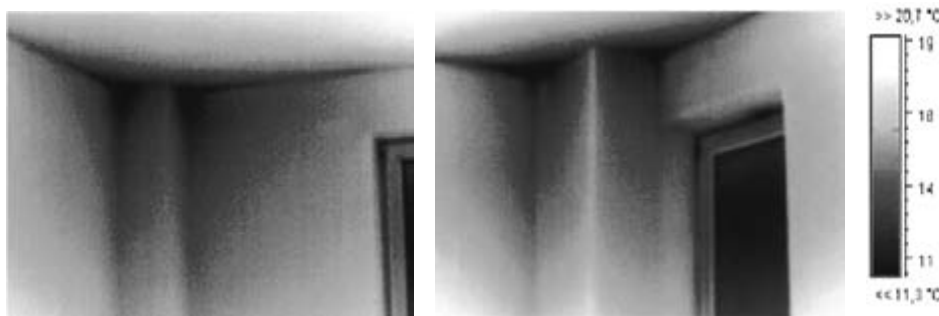


Рис. 1. Тепловизионные снимки внутренней поверхности выступающего угла

Предлагается использовать в качестве утепления жидкий керамический утеплитель «Корунд». Он представляет собой тонкое полимерное покрытие с толщиной слоя от 1 до 6 мм. Применение этого материала для утепления участков наружных стен существующих зданий, благодаря его крайне малому коэффициенту теплопроводности ($\lambda = 0,0012 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$) [3] и малой толщине слоя, позволяет сохранять почти неизменным внешний вид и геометрию фасада.

Для определения эффективного применения жидких утеплителей произведено моделирование температурных полей трехмерного узла выступающего угла на стыке с монолитным перекрытием толщиной 150 мм. Наружная стена выполняется трехслойной с эффективным утеплителем. Чтобы учесть влияние общего сопротивления теплопередачи стены на температуру внутренней поверхности, берем утеплитель с разной толщиной и с постоянным коэффициентом теплопроводности.

На рис. 2 отображены результаты расчетов температуры внутренней поверхности наружной стены на стыке с перекрытием без утеплителя (а), с утеплителем на 200 мм от перекрытия вверх и вниз (б) и с утеплителем внутрь стены на 120 мм соответственно (в).

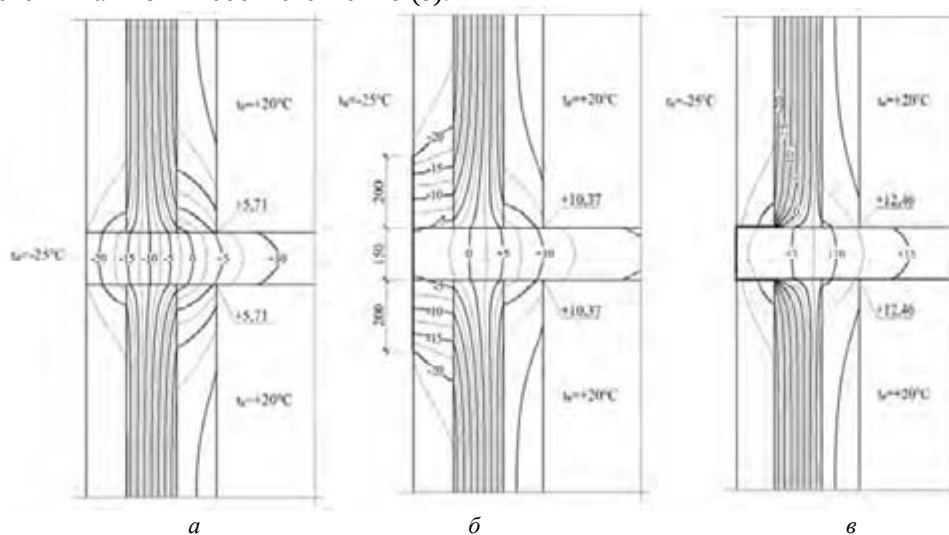


Рис. 2. Температура внутренней поверхности наружной стены на стыке с перекрытием

Параметры внутреннего и наружного воздуха приняты расчетными значениями для г. Волгограда, соответственно, +20 и –25 °С.

Выводы: 1) выступающий угол наружных стен нельзя проектировать без устройства дополнительного утепления либо в виде термовкладышей, либо в виде нанесенного жидкого утеплителя;

2) нанесение утеплителя типа «Корунд» только на торец перекрытия дает незначительный эффект, так как бетон под перекрытием сверху и снизу соприкасается с холодным кирпичом наружной версты;

3) нанесение утеплителя на торец перекрытия и на стену дает лучший результат по сравнению с предыдущим вариантом, причем утеплитель должен быть нанесен не менее чем на 200 мм вверх и вниз от перекрытия;

4) нанесение утеплителя на торец перекрытия и внутрь стены на 120 мм дает наибольший эффект по сравнению с остальными двумя вариантами;

4) толщина жидкого утеплителя очень мало влияет на температуру внутренней поверхности, так, например, толщина в 1 мм и в 3 мм по температуре дает разницу меньше 0,1 °С;

5) большое значение имеет общее сопротивление теплопередаче. Если оно крайне мало, то выполнить утепление перекрытия жидким утеплителем до нужного эффекта будет невозможно;

6) температура на стыке линейной части стены с перекрытием при соответствии наружной стены требованиям СНиП 23-02—2003 [1] в любом случае будет соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям, поэтому нанесение жидкого утеплителя по всему перекрытию нецелесообразно.

Применение жидкого утеплителя «Корунд» является эффективным и целесообразным способом повышения энергоэффективности и обеспечения нормальных условий эксплуатации зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий / Госстрой РФ. М., 2004.
2. СП 23-101—2004. Проектирование тепловой защиты здания. М., 2004.
3. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов : метод. рекомендации по теплотехническим расчетам М-001—2003. М., 2009.
1. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdaniy / Gosstroy RF. M., 2004.
2. SP 23-101—2004. Proektirovaniye teplovoy zashchity zdaniya. M., 2004.
3. Metod postanovki opyta i rascheta koeffitsienta teploprovodnosti dlya sverkh-tonkikh teplovykh izolyatsionnykh materialov : metodicheskiye rekomendatsii po teplotekhnicheskim raschetam M-001—2003. M., 2009.

© Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г., Власов В.А., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

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

УДК 625.855.3

С.И. Романов, А.Ю. Стадник

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОГО ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Обоснована необходимость использования для оценки шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий автоматического способа измерений, не требующего существенных трудовых затрат, отличающегося компактностью прибора, доступностью при не высокой стоимости аппаратного исполнения, достаточной точностью измерений на местах поверхности, равновеликой площади следа от колеса расчетного автомобиля. Применен ранее не использованный для данной цели электроемкостный метод. Приведены теоретические положения и экспериментальные данные, подтверждающие возможность использования сертифицированного отечественного прибора ВИМС-2.22 для определения показателей шероховатости дорожных асфальтобетонных покрытий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: шероховатость, дорожные покрытия, асфальтобетон, электроемкостный метод.

The need to use assess the coarseness bituminous concrete pavements automatic measurement mode is justified, which dispenses significant labour costs, is more compact device, accessible by no high cost of the hardware implementation, adequate accuracy in situ measurements the surface, equally large square of the trace from the standard truck's wheel. Not previously used for this purpose electro-capacitance method is applied. Abstract theorems and experimental evidence supporting the availability of the certified domestic appliance VIMS-2.22 for the coarseness bituminous concrete pavements are presented.

К е y w o r d s: coarseness, bituminous concrete pavement, electro-capacitance method.

Асфальтобетонное покрытие, построенное из горячих асфальтобетонных смесей, можно рассматривать как диэлектрик, содержащий компоненты с определенными величинами диэлектрической проницаемости [1—3]. Регистрируют диэлектрические свойства известным электроемкостным неразрушающим методом, при этом скорость измерений практически мгновенна, что позволяет его использовать в статистическом контроле качества, актуальном для дорожной отрасли.

Рекомендовано [4] на одном километре дорожного покрытия выполнять не менее 10 измерений шероховатости, при этом в покрытии данной дороги используют определенный тип асфальтобетона постоянного рецептурного состава. Для периодической диагностики состояния многих сотен километров

дорог необходимы тысячи измерений показателей шероховатости на площадях, равновеликих следу от колеса расчетного автомобиля. Поэтому требуется эффективный экспресс-метод определения шероховатости компактным быстродействующим прибором для автоматической регистрации средней глубины шероховатости не в линейных направлениях с использованием микропрофилографов, а на площадях покрытий, дающих дополнительную информацию о мере однородности показателя шероховатости для данной дороги в целом по определенному коэффициенту вариации. Такими достоинствами обладает электроемкостный метод измерений прибором с плоским датчиком, вводимым в контакт с контролируемой поверхностью дорожного покрытия для мгновенных косвенных измерений шероховатости покрытия, которая является функцией $C = f(\epsilon)$ диэлектрической проницаемости материала, находящегося в зоне эффективной глубины распространения электрического поля.

Минеральная часть асфальтобетона характеризуется проницаемостью, примерно в 3 раза большей по сравнению с битумом, у которого диэлектрическая проницаемость в 2,5 раза больше, чем у воздуха. Для данного состава асфальтобетона его проницаемость должна быть константой в соответствии с известными объемными соотношениями компонентов, но ряд случайных факторов в некоторой мере нарушает постоянство.

Размеры и площадь контакта датчика с контролируемым дорожным покрытием должны быть такими, чтобы не оказывалось влияние заметных неровностей покрытия на изменение плотности контакта с датчиком. Для обеспечения условия регистрации шероховатости на площади, равновеликой следу колеса автомобиля, при использовании датчика диаметром 10 см выполняли измерения на одном месте в 5 точках с определением средней величины (рис. 1).

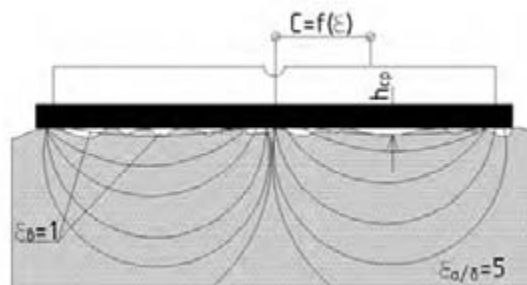


Рис. 1. Схема электроемкостных измерений на асфальтобетонном покрытии

В настоящее время на Челябинском предприятии «Интерприбор» выпускаются сертифицированные приборы, основанные на принципе действия электроемкостных измерителей и предназначенные для измерений влажности материалов. Нами установлена возможность использования влагомера ВИМС-2.22 для контроля параметра шероховатости сухой поверхности асфальтобетонных покрытий. Шероховатость дорожного покрытия и степень ее изменчивости позволяют прогнозировать безопасность дорожного движения и могут быть использованы в оценке однородности состава асфальтобетона в данном дорожном покрытии, так как параметры шероховатости и состава

взаимосвязаны. Показатель однородности, оцененный коэффициентом вариации, влияет на уровень сохранения прочности, водостойкости и эксплуатационной надежности проезжей части дороги.

До настоящего времени отсутствуют нормированные показатели шероховатости и ее однородности для покрытий из различных по типу и составу асфальтобетонов. Следует экспериментально определить влияние технологических факторов производства асфальтобетонных смесей, их возможной сегрегации при различных условиях вынужденного хранения, загрузки в самосвал, дальности перевозки и особенностей устройства покрытий на показатели однородности шероховатости асфальтобетона с целью минимизации их изменчивости.

Зерновая и температурная сегрегация асфальтобетонной смеси, по-видимому, будет ухудшать однородность шероховатости. Сегрегация происходит, если наблюдается различие в содержании наиболее крупного щебня в вырубках асфальтобетона при неблагоприятных технологических условиях строительства дорожного покрытия. Можно предполагать также влияние типа асфальтобетона на интенсивность сегрегации, которая будет проявляться в меньшей мере при снижении коэффициента вариации шероховатости дорожного покрытия.

Искусственный подъем датчика прибора ВИМС-2.22 над поверхностью асфальтобетонного покрытия показал наибольшую чувствительность и точность измерений шероховатости прибором для минимальных значений подъема (рис. 2).

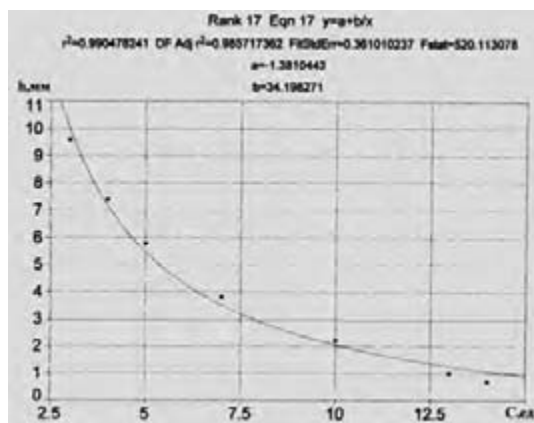


Рис. 2. Изменение чувствительности электроемкостного прибора ВИМС-2.22 при искусственном подъеме датчика над анализируемой поверхностью

Чувствительность достаточна для регистрации в широком диапазоне косвенных показателей шероховатости от 0 до 10 мм по установленному экспериментально уравнению регрессии. Значительная потеря чувствительности наблюдается при высоте подъема датчика более 20 мм, так как с подъемом датчика в воздух над асфальтобетонным покрытием наблюдается снижение интенсивности электрического поля. Уменьшение расстояния между разнополярными электродами приводит к уменьшению глубины проникновения электрического поля.

Корреляция между показателями шероховатости методом песчаного пятна и электроемкостным методом достаточно высокая при большом числе измерений (рис. 3), что позволяет использовать последний как косвенный экспресс-метод оценки шероховатости и ее изменчивости на поверхности дорожного покрытия, построенного из асфальтобетона данного состава.

Электроемкостные измерения на поверхности дорожных покрытий из асфальтобетонных различных типов закономерно показали повышенную глубину шероховатости при увеличении содержания щебня. Установлены существенные различия коэффициентов вариации показателей шероховатости асфальтобетонных покрытий определенных типов. Эти особенности позволяют выявлять наиболее благоприятные, наименее подверженные сегрегации типы асфальтобетонных смесей.

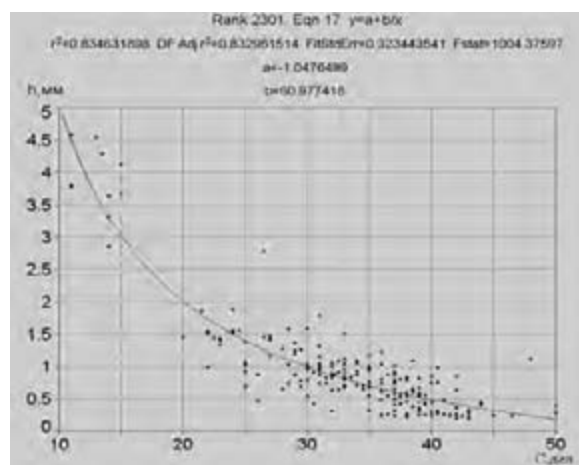


Рис. 3. Корреляция между значениями шероховатости h по методу песчаного пятна и электроемкостному методу C на дорожном покрытии из асфальтобетона данного состава (использован плоский емкостной датчик 22×35 см)

Изменение типа и состава асфальтобетона потребует провести заново градуировку электроемкостных показателей в величинах глубины шероховатости при условии отсутствия воды на месте измерений. Вода характеризуется диэлектрической проницаемостью, несоизмеримо большей, чем у асфальтобетона.

Постановка задачи оценки коэффициента вариации шероховатости на данном покрытии дороги не требует проведения градуировки электроемкостных показателей в значениях глубины шероховатости, и такая задача является приоритетной в оценке однородности качественного состояния дорожного покрытия.

Диэлектрическая проницаемость асфальтобетона ϵ зависит от состава асфальтобетона согласно уравнению

$$\epsilon = \epsilon_m v_m + \epsilon_b v_b + \epsilon_v v_v,$$

где ϵ_m , ϵ_b , ϵ_v — соответственно диэлектрические проницаемости минерального материала, битума и воздуха; v_m , v_b , v_v — соответственно удельные объемы в асфальтобетоне, занимаемые минеральным материалом, битумом и

воздушной остаточной пористостью с дополнительным учетом шероховатости за счет средней глубины воздушных впадин в покрытии.

Между плоским датчиком прибора и контактирующей с ним поверхностью асфальтобетонного покрытия неизбежен некоторый усредненный воздушный зазор, или средняя глубина впадин, обычно определяемая методом песчаного пятна и оказывающая определенное влияние на величину измеренной электроемкости C . Уменьшение зазора закономерно приводит к возрастанию измеряемой электроемкости. Желательно, чтобы площадь датчика соответствовала площади отпечатка колеса расчетного автомобиля, но при этом несколько снижается показатель корреляции между значениями прямых длительных и трудоемких измерений и косвенных электроемкостных мгновенных измерений из-за случайных изменений ровности покрытия. В частности для датчика диаметром 10 см показатель корреляции 0,90; для прямоугольного (22×35 см) в виде санок, удобного для непрерывных измерений, корреляция снизилась до 0,81 при одинаковом математическом уравнении регрессии: $h = a + b/C$ со своими коэффициентами a и b . В обоих случаях связь достаточно тесная, поэтому электроемкостные измерения можно рекомендовать для косвенной оценки шероховатости, используя, например, рис. 3, для градуировки: $h = -1,05 + 60,98C$.

h , мм	5,05	3,02	2,00	1,39	0,98	0,69	0,47	0,31
C , дел	10	15	20	25	30	35	40	45

Для данного состава асфальтобетона при надлежащем его уплотнении можно теоретически полагать константой величину ε , которая на практике становится случайной величиной.

Измерения шероховатости и коэффициентов ее вариации на асфальтобетонных покрытиях из литого и щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА-20) на мостовом переходе через Волгу в г. Волгограде показали (рис. 4) наименьшую меру изменчивости шероховатости ЩМА-20, у которого $C_v = 0,03$, в то время как для литого с втоплением щебня $C_v = 0,25$. На этом примере видны низкая однородность распределения втопленного щебня на покрытии и высокая однородность шероховатости покрытия из ЩМА-20.

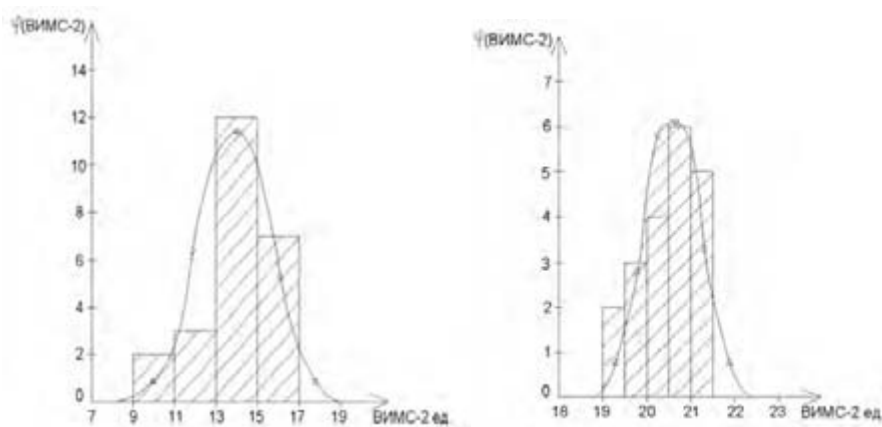


Рис. 4. Распределение электроемкостных показателей на дорожных покрытиях: от 9 до 17 ед. — для литого асфальтобетона с втопленным щебнем; от 19 до 21,5 ед. — для ЩМА-20

Повышенное содержание щебня [5] способствовало некоторому увеличению глубины шероховатости у ЦМА-20 при сопоставлении с литым асфальтобетоном, поскольку щебень характеризуется существенно большей диэлектрической проницаемостью по сравнению с асфальтовяжущим.

Увеличение коэффициента уплотнения асфальтобетона приводит к регистрируемому росту диэлектрической проницаемости [2] в связи с вытеснением воздушной фазы из асфальтобетона. В процессе укатки асфальтобетонной смеси растет электроемкость в данном месте покрытия до тех пор, пока не прекратится прирост плотности асфальтобетона. Таким образом, весьма оперативно контролируется процесс уплотнения асфальтобетона электроемкостным прибором с датчиком (22 × 35 см) в виде санок, протаскиваемых по контролируемому покрытию при решении задачи оптимизации процесса уплотнения, отслеживаемого на стрелочном индикаторе прибора.

Сопоставление результатов электроемкостных измерений каждым из двух приборов с различными по размеру и конструкции датчиками (круглый диаметром 10 см и в виде санок 22 × 35 см) для оценки шероховатости уплотненных и эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий показало высокий (0,91) коэффициент прямолинейной корреляции.

Вывод. Теоретически и экспериментально обосновано применение электроемкостного экспресс-метода для косвенной регистрации средней глубины впадин шероховатости и показателя ее однородности асфальтобетонных дорожных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романов С.И. Определение диэлектрических свойств битума и асфальтобетона / Труды СоюздорНИИ. 1971. Вып. 49. С. 129—131.
2. Романов С.И., Абулханов Р.Г. Контроль процесса уплотнения асфальтобетонного покрытия / Казахский филиал СоюздорНИИ. Алма-Ата, 1976. С. 131—140.
3. Романов С.И., Банатов А.В., Лескин А.И. Анализ состояния поверхности дорожного покрытия // Известия вузов. Строительство. 2008. № 9. С. 76—80.
4. Сиденко В.М., Рокас С.Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. М., 1981. С. 87.
5. Стадник А.Ю. Показатели шероховатости дорожных покрытий, построенных с применением различных типов асфальтобетона // Наука и образование: Архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конфер., 6—10 сентября 2010 г., г. Волгоград. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.
1. Romanov S.I. Opredeleniye dielektricheskikh svoystv bituma i asfaltobetona / Trudi SoyusdorNII. 1971. Vip. 49. S. 129—131.
2. Romanov S.I., Abulhanov R.G. Kontrol protsessa uplotneniya asfaltobetonnogo pokrytiya / Kazahskiy filial SoyusdorNII. Alma-Ata, 1976. S. 131—140.
3. Romanov S.I., Banatov A.V., Leskin A.I. Analiz sostoyaniya poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2008. № 9. S. 76—80.
4. Sidenko V.M., Rokas S.Yu. Upravleniye kachestvom v dorozhnom stroitel'stve. M., 1981. S. 87.
5. Stadnik A.Yu. Pokazateli sherohovatosti dorozhnykh pokrytii, postroyennykh s primeneniym razlichnykh tipov asfal'tobetona // Nauka i obrazovaniye: arhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materially Mezhdunar. konfer., 6—10 sentyabrya 2010 g., Volgograd. Volgograd : VolgGASU, 2010. S. 526—528.

© Романов С.И., Стадник А.Ю., 2010

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

УДК 656.052.43:625.712 (470.45)

А.В. Лукин, В.А. Лукин, А.В. Куликов

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УДС (НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА)

Приведены результаты исследования скоростных характеристик на улично-дорожной сети г. Волгограда, дан метод обоснования оптимальной скорости движения транспортных потоков в городских условиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: улично-дорожная сеть, транспортные потоки, оптимальная скорость, удельные суммарные затраты.

Results of the research of speed characteristics on the Volgograd street-road system are quoted. The substantiation method the calculated speed movement of traffics in city conditions is given.

К e y w o r d s: a street-road system, transport streams, optimum speed, specific total expenditure.

Успешная работа дорожно-транспортного комплекса (ДТК) зависит от эффективности функционирования его составляющих. Основными составляющими ДТК города являются: транспортные потоки (ТП), улично-дорожная сеть (УДС), объекты сервиса и управления движением. Конечным продуктом взаимодействия составляющих ДТК являются автомобильные перевозки грузов и пассажиров.

Общим критерием оценки эффективности условий эксплуатации дорог и транспорта могут быть суммарные затраты, включающие в себя стоимость мероприятий по поддержанию потребительских свойств УДС на должном уровне и затраты на эксплуатацию подвижного состава.

Основным показателем, влияющим на суммарные затраты ДТК, является скорость движения. Скоростные характеристики городского движения обуславливаются: наличием ограничения по скорости правилами дорожного движения; интенсивностью движения; наличием пешеходного и велосипедного движения; возможностью использования многорядного движения; большой концентрацией средств организации движения (знаков, разметки, светофоров) и т.д.

В условиях города наибольшая эффективность работы транспорта достигается, если транспортные потоки будут двигаться с оптимальной скоростью. Под оптимальной скоростью следует понимать такую скорость, которая бы обеспечивала минимум суммарных затрат на содержание дорог и эксплуатацию транспортных средств.

С ростом интенсивности движения усиливается эксплуатационная нагрузка на проезжую часть. Это приводит к тому, что дорожные покрытия теряют часть своих потребительских свойств, что, собственно, и является одной из причин снижения скорости движения.

Интенсивность и состав движения, а также скоростные режимы транспортных потоков являются основными исходными данными технико-экономического обоснования мероприятий, направленных на улучшение дорожных условий и определение оптимальных скоростей движения. В период 2007...2010 гг. на кафедре организации и безопасности движения ВолгГАСУ

в рамках подготовки комплексной транспортной схемы г. Волгограда были проведены исследования интенсивности, состава и режимов движения транспортных потоков на основных элементах УДС города [1].

Для оценки соответствия интенсивности движения транспортных средств пропускной способности участка дороги существует показатель уровня загрузки УДС. Под уровнем загрузки понимается отношение интенсивности движения на определенном участке УДС к пропускной способности этого же участка:

$$Z = \frac{N_i}{P_i}. \quad (1)$$

В результате обработки данных был построен график зависимости скоростей транспортных потоков от величины коэффициентов загрузки улиц для 91 участка УДС г. Волгограда (рис. 1). Полученная эмпирическая зависимость отражает влияние уровня загрузки участка УДС на среднюю скорость потока.

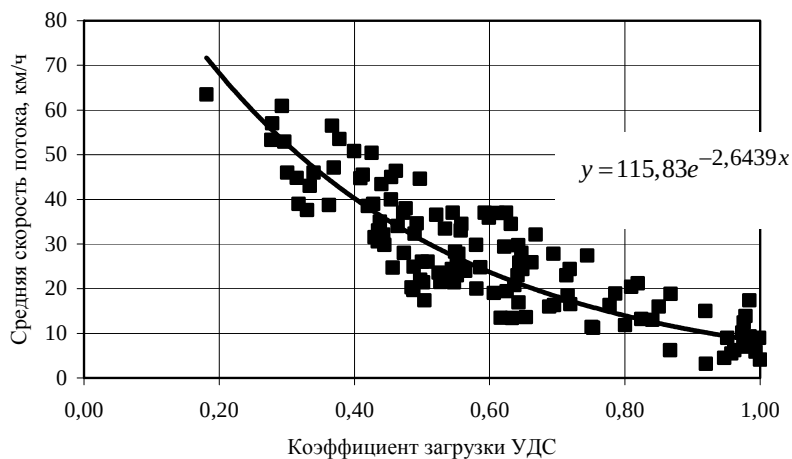


Рис. 1. Зависимость скорости транспортного потока от уровня загрузки УДС

Для оптимизации скоростных режимов транспортных потоков следует поддерживать определенный уровень загрузки УДС. Обеспечить приемлемый уровень загрузки УДС можно двумя способами: уменьшить интенсивность движения за счет отвода части потока на альтернативные направления или увеличить пропускную способность за счет расширения проезжей части.

С использованием данных об интенсивности движения, скоростных режимах транспортных средств, геометрии данных участков, а также укрупненных единичных расценок на виды работ при ремонте автомобильных дорог по Южному федеральному округу [2] была установлена зависимость удельной стоимости мероприятий от средней скорости потоков. Пример расчета приведен в табл. 1, 2 и на рис. 2.

График на рис. 2 показывает, что увеличить среднюю скорость движения потока возможно при увеличении соответствующих вложений средств на ремонт и содержание УДС.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные для расчета удельной стоимости затрат
на ремонт участка дороги по ул. Героев Тулы (длина участка 1630 м)

N, авт/ч	Количество полос n		Пропускная способность			Уровень загрузки		Средняя скорость потока	
	до	после	одной полосы	до	после	до	после	до	после
728	2	4	940	1880	3760	0,39	0,19	41,6	69,4

Т а б л и ц а 2

Расчет удельной стоимости затрат на ремонт участка дороги по ул. Героев Тулы

Виды работ	Объем работ	Укрупненные расценки, р.	Стоимость, р.	Удельная стоимость, тыс. р./п.м
1. Уширение проезжей части с 11 до 14 м:				
щебеночное основание, м ³	1956	252	492912	
подстилающий слой, м ³	978	325	317850	
покрытие из асфальтобетонной смеси:			0	
верхний слой, 5 см	17930	118	2115740	
Полоса уширения	4890	118	577020	
нижний слой, 7 см	4890	154	753060	
2. Замена бордюрного камня, п.м	1630	458	746540	
Итого			5003122	3,0694

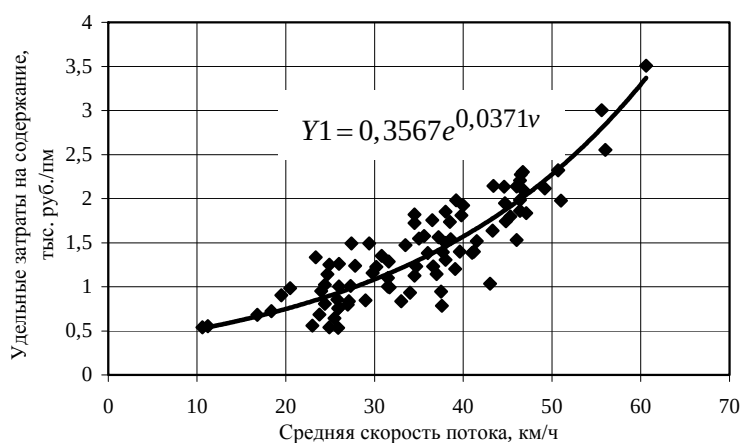


Рис. 2. Зависимость удельной стоимости ремонтных работ от средней скорости движения транспортного потока

Планируемые мероприятия должны поднять уровень потребительских свойств участка УДС до нормативного, т.е. повысить пропускную способность за счет увеличения полос движения и улучшения схем организации движения, а также увеличить прочность дорожной одежды в соответствии с нагрузкой, повысить коэффициент сцепления колес транспортных средств с

покрытием и обеспечить ровность. Состав мероприятий на различных участках может быть разным. Для представленных расчетов выбирались участки, на которых планом «Комплексной транспортной схемы г. Волгограда» предусматривались работы по реконструкции проезжей части и исправлению дефектов покрытия.

С другой стороны, средняя скорость движения транспортного потока оказывает влияние на затраты, связанные с выполнением транспортной работы по перевозке грузов и пассажиров.

По действующей в настоящее время на автомобильном транспорте методике при определении себестоимости учитываются расходы, связанные только с транспортированием [3]. Величину затрат определяют на основе калькуляции себестоимости, в которой все затраты в зависимости от их характера и назначения распределяются по статьям.

Все расходы, связанные с транспортированием груза, условно разделяют на переменные и постоянные.

К переменным относятся расходы на техническое обслуживание, текущий ремонт, амортизацию подвижного состава, расходы на шины и др. Они связаны непосредственно с работой подвижного состава и исчисляются на 1 км пробега.

К постоянным относятся расходы на содержание зданий, налоги и сборы, хозяйственные расходы, заработная плата административно-управленческого персонала и условно водителей. Они исчисляются на календарное время пребывания автомобиля в автотранспортном предприятии независимо от того, где они находятся: на линии, в ремонте, простое и т.д., — и не зависят от пробега автомобиля.

Отношение фактических расходов, связанных с транспортированием груза (пассажиров), к транспортной продукции, транспортному времени или расстоянию транспортирования позволяет определить:

себестоимость транспортирования одной тонны груза

$$S_Q = \frac{V_3 C_{\text{пер}} + C_{\text{п}}}{W_Q}, \quad (2)$$

где S_Q — себестоимость транспортирования одной тонны груза р./т; V_3 — эксплуатационная скорость, км/ч; $C_{\text{пер}}$ — переменные расходы, р./км; $C_{\text{п}}$ — постоянные расходы, р./ч; W_Q — объем транспортной продукции, т;

себестоимость одного километра пробега

$$S_L = C_{\text{пер}} + \frac{C_{\text{п}}}{V_3}, \quad (3)$$

где S_L — себестоимость одного километра пробега, р./км;

себестоимость одного автомобиле-часа

$$S_{\text{ач}} = C_{\text{п}} + C_{\text{пер}} V_3, \quad (4)$$

где $S_{\text{ач}}$ — себестоимость одного автомобиле-часа, р./ч.

Для оценки суммарных затрат ДТК затраты на содержание дорог и эксплуатацию транспортных средств необходимо определять в сопоставимых единицах.

Затраты на эксплуатацию транспорта, приходящиеся на участок дороги, определяются зависимостью

$$Z_{\text{тр}} = \frac{L_{\text{удс}}}{V_{\text{п}}} \sum_{i=1}^A S_{\text{ач}i} N \eta_i, \quad (5)$$

где $Z_{\text{тр}}$ — затраты на эксплуатацию транспорта на участке дороги, р.; $L_{\text{удс}}$ — длина участка УДС, км; $V_{\text{п}}$ — средняя скорость потока, км/ч; N — интенсивность движения транспортных средств, ед.; η_i — доля транспортных средств i -го вида в общем потоке.

Пример расчета затрат на эксплуатацию транспорта, приходящихся на единицу участка дороги, приведен в табл. 3 и на рис. 3.

Т а б л и ц а 3

*Расчет эксплуатационных затрат транспорта на участке УДС г. Волгограда
(участок № 2: ул. Николая Отрады, $N = 69484$ авт/сут, $V_n = 23,8$ км/ч)*

Показатели	Транспортные средства								
	Грузовые						Пассажирские		
	1,5...3,0	3,0...5,0	5,0...8,0	8,0...12	12...15	Бо- лее 15	Автобу- сы и троллей- бусы	Мар- шрут. такси	Легко- вые
Доля транс- порта в потоке	0,07	0,012	0,004	0,001	0,063	0,06	0,024	0,066	0,7
Эксплуатаци- онная ско- рость, км/ч	16	16	16	16	16	16	16	20	22
Постоянные затраты, р.	120	180	200	240	280	300	200	120	80
Переменные затраты, р.	9,6	14,4	16	19,2	22,4	24	16	9,6	6,4
Себестоимость одного авто- мобиле-часа, р./ч	600	900	1000	1200	1400	1500	1000	600	400
Удельные за- траты на экс- плуатацию транспорта, р./п.м	55,9	14,4	5,3	1,1	117,4	119,8	31,9	60,1	451,2
Сумма удель- ных затрат на эксплуатацию транспорта, тыс. р./п.м	0,8573								

Графическая зависимость, приведенная на рис. 3, показывает, что увеличение средней скорости потока позволяет снизить затраты на эксплуатацию транспорта, приходящиеся на единицу участка УДС.

Для определения оптимального значения средней скорости потока необходимо определить суммарные затраты от взаимодействия элементов транспортного комплекса:

$$Z_{TK} = \sum_{i=1}^N [Z_{Di} f(V_{pi}) + Z_{Tr} f(V_{pi})], \quad (6)$$

где Z_{TK} — суммарные затраты на содержание дорог и эксплуатацию транспортных средств, р., на рис. 4 соответствует $Y3$; Z_{Di} — затраты на содержание участка УДС, р., на рис. 2 и 4 соответствует $Y1$; Z_{Tr} — затраты на эксплуатацию транспорта на участке дороги, р., на рис. 1 и 4 соответствует $Y2$.

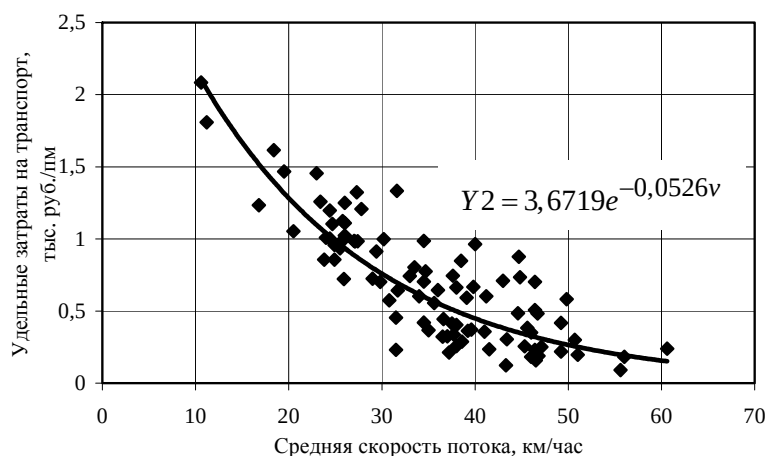


Рис. 3. Зависимость удельных затрат на эксплуатацию транспорта от средней скорости движения транспортного потока

По результатам расчетов построен график зависимости суммарных затрат от средней скорости потока (рис. 4).

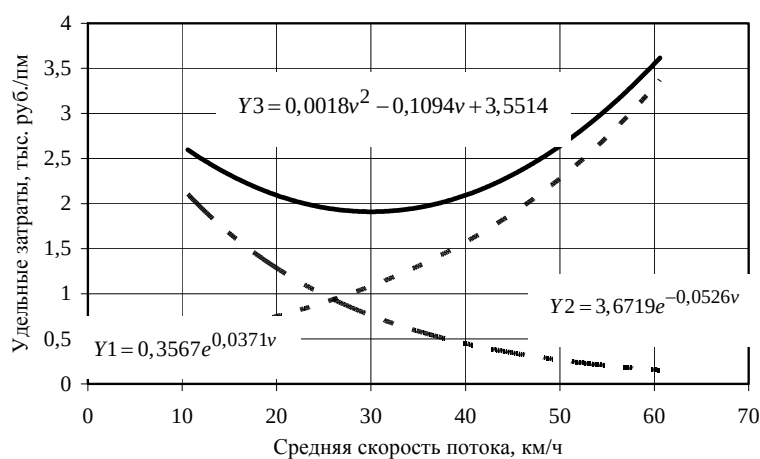


Рис. 4. Зависимость удельных суммарных затрат элементов транспортного комплекса от средней скорости движения транспортного потока

Минимум суммарных затрат определяет оптимальное значение средней скорости движения транспортных потоков на УДС. В среднем на УДС г. Волгограда $V_{опт} = 30,2$ км/ч, что соответствует минимуму $Z_{TK} = 1,889$ тыс. р./п.м.

Оптимальное значение средней скорости транспортных потоков на различных участках УДС будет варьировать в зависимости от уровня соответствия потребительских качеств участков УДС нормативным значениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексная транспортная схема г. Волгограда до 2025 г. : отчет по хоздоговорной теме № 1029/06У от 28.08.06 / М.М. Девятков, С.В. Алексиков, Ю.Ф. Полковников и др. Волгоград, 2008.

2. Укрупненные единичные расценки на виды работ при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений на них по Южному федеральному округу // Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации : официальный сайт. Режим доступа: <http://rosavtodor.ru/shownewsn.php?id=1839>. Дата обращения: 20.11.10.

3. Грузовые автомобильные перевозки / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов. М. : Горячая линия — Телеком, 2006. 560 с.

1. Kompleksnaya transportnaya skhema g. Volgograda do 2025 g. : otchet po khozdogovornoy teme №1029/06U ot 28.08.06 / M.M. Devyatov, S.V. Aleksikov, Yu.F. Polkovnikov i dr. Volgograd, 2008.

2. Ukrupnennyye edinichnyye rastsenki na vidy rabot pri kapital'nom remonte i remonte avtomobil'nykh dorog i iskusstvennykh sooruzheniy na nikh po Yuzhnomu federal'nomu okrugу // Federal'noye dorozhnoye agentstvo Ministerstva transporta Rossiskoy Federatsii : ofitsial'nyy sayt. Rezhim dostupa: <http://rosavtodor.ru/shownewsn.php?id=1839>. Data obrashcheniya: 20.11.10.

3. Gruzovyye avtomobil'nyye perevozki / A.V. Vel'mozhin, V.A. Gudkov, L.B. Mirotin, A.V. Kulikov. M. : Goryachaya liniya — Telekom, 2006. 560 s.

© Лукин А.В., Лукин В.А., Куликов А.В., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 625.7/.8

Д.А. Скоробогатченко

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ КАЧЕСТВЕННОГО ХАРАКТЕРА

Предложена модель для оценки эксплуатационного состояния автомобильных дорог. В качестве входной информации в модели могут быть использованы как точные инструментальные данные, так и информация качественного характера, задаваемая пользователем вербально.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильные дороги, эксплуатационное состояние, модель для оценки.

The model for the appraisal state of repair of highways is offered. As the input information in the model can be used not only an accurate tool data, but also the qualitative character information user-definable verbally.

K e y w o r d s: highways, state of repair, model for the appraisal.

Наличие и состояние автомобильных дорог определяет развитие экономики страны [1]. Однако в связи со снижением объемов финансирования фактическое эксплуатационное состояние автомобильных дорог не соответствует нормативному. Выходом из сложившейся ситуации является создание систем управления [2], существенным элементом которых является первоначальная оценка фактического эксплуатационного состояния автомобильных дорог [3]. При этом имеющиеся системы оценки подчас упускают из вида существенный объем информации качественного характера.

Функционирование гибридной модели, основанной как на результатах комплексной диагностики, так и на вербальных экспертных оценках, можно представить в два этапа (рис. 1).



Рис. 1. Концептуальная схема работы модели оценки эксплуатационного состояния автомобильных дорог с учетом информации качественного характера

Перейдем к детальному рассмотрению функционирования модели.

На первом шаге первого этапа пользователем определяются значения всех переменных-листьев дерева параметров эксплуатационного состояния

автомобильной дороги. Представим детально переменные, составляющие дерево параметров (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Дерево параметров эксплуатационного состояния автомобильной дороги

Общее эксплуатационное состояние автомобильной дороги	Состояние ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	Повреждения и просадки на неукрепленных обочинах
		Повреждения и просадки укрепительных полос
		Повреждения дренажных и защитных устройств
		Мусор и посторонние предметы на обочине, откосах
		Растительность на обочинах
		Занижение обочин относительно кромки
		Застой воды на обочинах
		Размыв и разрушения земляного полотна
	Состояние ПОКРЫТИЯ	Шероховатость покрытия
		Ровность покрытия
		Выкрашивание покрытия
		Наличие проломов покрытия
		Наличие необработанных трещин на покрытии
		Наличие необработанных мест выпотевания битума
		Наличие полос загрязнения и посторонних предметов
		Гребенка и нарушение профиля
		Сетка трещин
		Сколы кромок покрытия
	Состояние ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	Загрязнение проезжей части мостовых сооружений
		Отдельные выбоины на покрытии тротуаров
		Трещины в покрытии над деформационными швами
		Неокрашенные ограждения
		Мусор, загрязнение, растительность на пролетных строениях
		Разрушенные откосы сооружений, конусов, насыпи
		Разрушения опор и балок пролетных строений
		Повреждения оголовков трубы
		Заиливание водопропускных труб
		Загрязнение дорожных знаков и указателей
	Состояние ОБСТАНОВКИ И ОБУСТРОЙСТВА	Загрязнение сигнальных столбиков и тумб
		Загрязнение остановочных павильонов, площадок отдыха
		Повреждения остановочных и посадочных площадок
		Износ окраски дорожных знаков
		Износ окраски сигнальных столбиков
		Наличие знаков, требующих замены
		Износ дорожной разметки

Отметим, что в соответствии с методикой нечеткой логики значения переменных листьев могут характеризоваться количественно и (или) качественно. К примеру, низовая переменная «ямочность покрытия» вышестоящей комплексной интегральной переменной «эксплуатационное состояние покрытия» может быть охарактеризована пользователем количественно в диапазоне от 0 до 50 м² на 1000 м² покрытия автомобильной дороги. Эта же переменная может быть задана в категориях «неудовлетворительная», «удовлетворительная» и «хорошая» с использованием промежуточных категорий «ниже» или «выше». Таким образом, пользователь может указать, что «ямоч-

ность покрытия» составляет 1 м^2 на 1000 м^2 или охарактеризовать ее понятием «выше удовлетворительной». Понятия «неудовлетворительная ровность» — «хорошая ровность» представляют собой не что иное, как термножества, необходимые для построения функций принадлежности. Отметим здесь, что, задавая значение переменной вербально, пользователь фактически присваивает ей координаты вершины соответствующего термножества. В качестве иллюстрации приведем пользовательскую характеристику переменных-листьев, входящих в комплексную интегральную переменную «эксплуатационное состояние покрытия» (табл. 2).

Таблица 2

Пример значений переменных-листьев эксплуатационного состояния дорожной одежды, задаваемых пользователем

Наименование переменной	Ед. изм.	Значение
1	2	3
Ямочность проезжей части на 1000 м^2 покрытия	м^2	5,5
Ровность	см/км	670
Коэффициент сцепления		Высокий
Выкрашивание покрытия от площади покрытия	%	9
Необработанные участки выпотевания битума на 1000 м^2	м^2	54
Суммарная длина сетки трещин на покрытии	м	470
Полосы загрязнения у кромок покрытия	м	590
Периодичность посторонних предметов на проезжей части	м	670

На втором шаге первого этапа для всех переменных-листьев разрабатываются термножества и строятся функции принадлежности гауссовского типа. Требования к состоянию конструктивных элементов автомобильной дороги, используемые для построения функций принадлежности, разработаны на основе [4, 5].

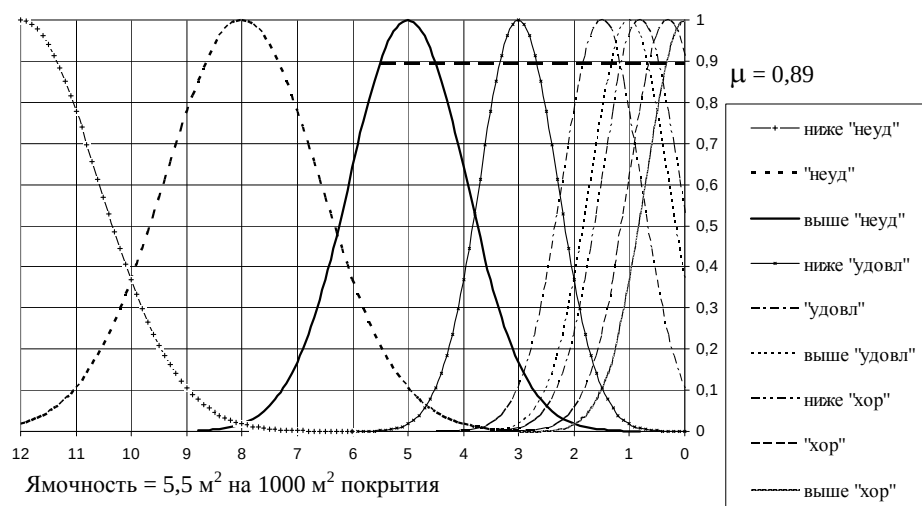


Рис. 2. Деффузификация значений переменной-листа «ямочность покрытия», входящей в интегральную переменную «эксплуатационное состояние дорожной одежды»

На третьем шаге первого этапа заданные пользователем значения переменных отражаются на функциях принадлежности. Здесь происходит процедура фуззификации четких значений, подаваемых на вход в модель в соответствии с [6]. Проиллюстрируем данный этап, используя функцию принадлежности низовой переменной «ямочность покрытия», входящей в интегральную переменную «эксплуатационное состояние дорожной одежды» (рис. 2). В результате значению входной переменной присвоено множество с максимальной функцией принадлежности. На этом первый этап в работе модели заканчивается.

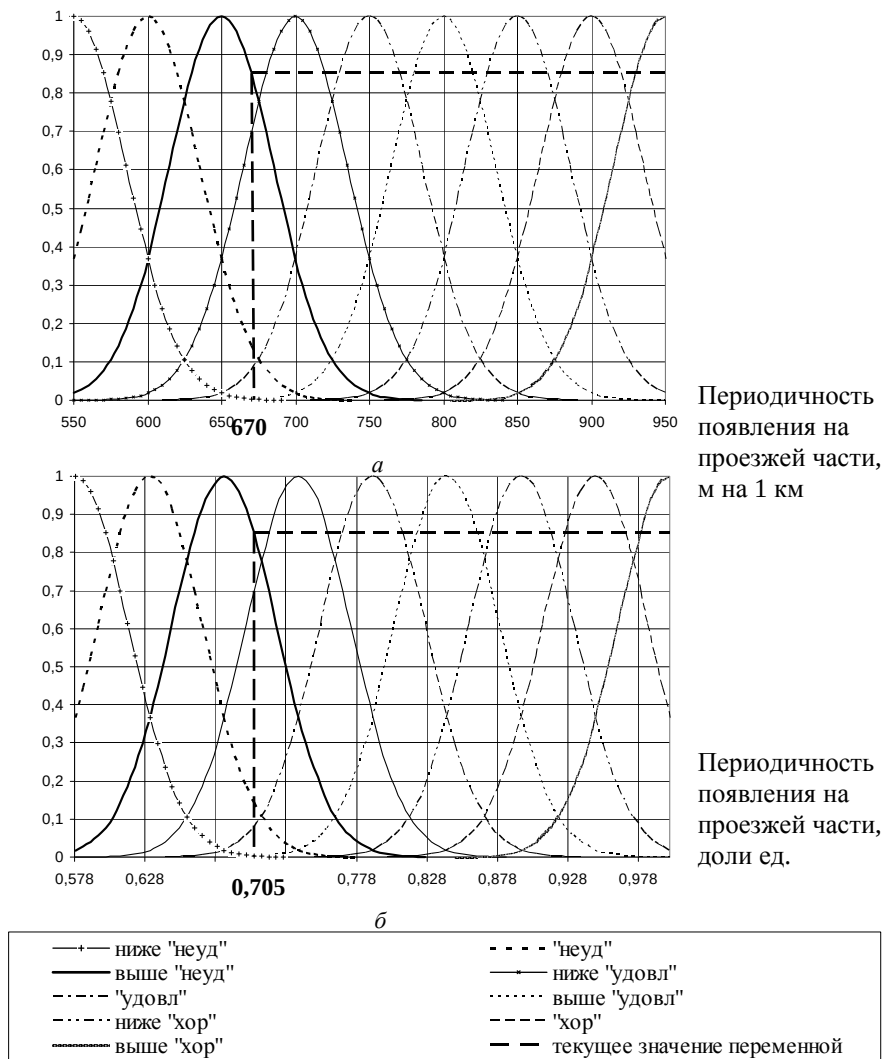


Рис. 3. Пример нормализации функций принадлежности переменной «периодичность появления посторонних предметов на проезжей части»: *а* — до нормализации (пользовательская размерность); *б* — после нормализации (в долях от 0 до 1)

Далее переходим к рассмотрению второго этапа модели идентификации начального состояния.

На первом шаге второго этапа работы модели для всех функций принадлежности, построенных на первом этапе, осуществляется процедура нормализации, т.е. переход от натуральной размерности оси к нормализованной от 0 до 1. Для функций гауссовского типа проиллюстрируем нормализацию на примере переменной «периодичность посторонних предметов на проезжей части». Графически переход от функций принадлежности пользовательской размерности к функциям с нормализованными осями представим на рис. 3 на примере функций принадлежности переменной «периодичность посторонних предметов на проезжей части».

Однако не все переменные имеют прямой порядок оси. В частности, из восьми переменных-листьев, входящих в комплексную переменную «эксплуатационное состояние дорожной одежды», шесть имеют обратный порядок, и объединять их в таком виде с переменными, имеющими прямую направленность оси, не представляется возможным. В связи с этим на втором шаге третьего этапа все переменные, имеющие обратный порядок оси, после нормализации приводятся к прямому порядку оси.

Далее переходим к реализации третьего шага второго этапа работы модели. На данном этапе необходимо получить функции принадлежности и значения комплексной интегральной переменной «эксплуатационное состояние дорожной одежды».

Процедура получения функций принадлежности и значений комплексных переменных выполняется с использованием весов переменных-листьев. В качестве примера продемонстрируем получение интегральной переменной «эксплуатационное состояние дорожной одежды». Центр μ и ширину σ низовых переменных, составляющих комплексную интегральную переменную «эксплуатационное состояние дорожной одежды», после процедуры нормализации и приведения к прямому порядку оси представим в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика функций принадлежности переменных-листьев, образующих переменную «эксплуатационное состояние дорожной одежды»

Наименование переменной	Вес	Параметры гауссовской функции	«Неуд»			«Удовл»			«Хор»		
			Ниже «неуд»	«Неуд»	Выше «неуд»	Ниже «удовл»	«Удовл»	Выше «удовл»	Ниже «хор»	«Хор»	Выше «хор»
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ямочность	0,18	μ	0	0,33	0,58	0,75	0,87	0,91	0,93	0,97	1
		σ	0,16	0,16	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Ровность	0,16	μ	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64
		σ	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,08	0,08	0,08
Кoeffиц. сцепления	0,2	μ	0	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,75	1
		σ	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2
Выкраш. покрытия	0,12	μ	0	0,1	0,25	0,4	0,5	0,7	0,8	0,85	0,9
		σ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
Выпот. битума	0,1	μ	0	0,25	0,5	0,62	0,75	0,81	0,87	0,91	0,93
		σ	0,12	0,18	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Сетка трещин	0,16	μ	0	0,06	0,13	0,2	0,26	0,33	0,46	0,6	0,8
		σ	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Полосы загряз.	0,03	c	0	0,13	0,4	0,53	0,6	0,66	0,73	0,86	0,93
		σ	0,13	0,2	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Посто- ронние предметы	0,05	c	0,57	0,63	0,68	0,73	0,78	0,84	0,89	0,94	1
		σ	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Аналогичным образом рассчитывается и текущее значение интегральной комплексной переменной:

$$x_{\text{до.}} = 0,541 \times 0,18 + 0,464 \times 0,16 + 0,82 \times 0,2 + 0,55 \times 0,12 + 0,325 \times 0,1 + 0,373 \times 0,16 + 0,293 \times 0,03 + 0,705 \times 0,05 = 0,53.$$

На основании полученных данных строим функции принадлежности комплексной интегральной переменной «эксплуатационное состояние дорожной одежды» и откладываем рассчитанное текущее значение 0,53. Функции принадлежности комплексной интегральной переменной «эксплуатационное состояние дорожной одежды», построенные по данным табл. 4, приведены на рис. 4.

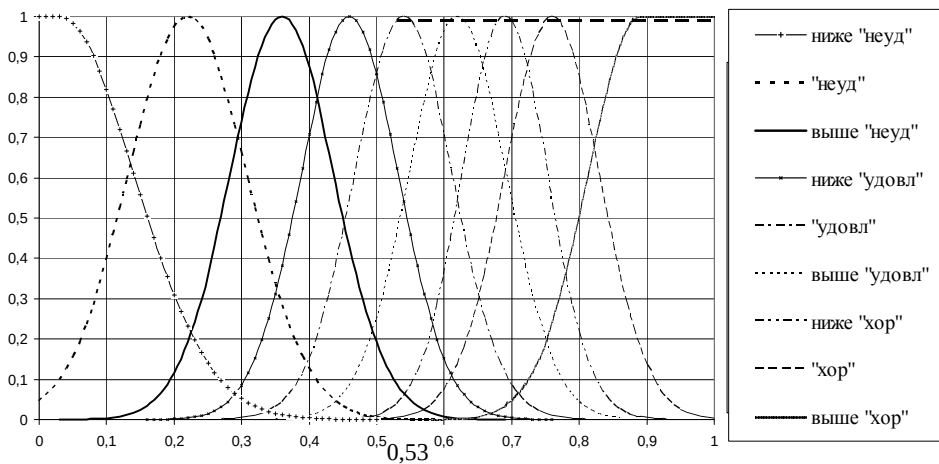


Рис. 4. Функции принадлежности и значение интегральной комплексной переменной «эксплуатационное состояние дорожной одежды»

Аналогичным образом строятся функции принадлежности всех остальных комплексных интегральных переменных, приведенных в табл. 1.

Таким образом, можно сделать вывод, что на основании методики представления входных данных в виде лингвистических переменных была реализована модель идентификации начального эксплуатационного состояния автомобильных дорог. Особенностью модели является то, что наряду с точными данными инструментальной диагностики она может использовать качественные данные, вербально задаваемые пользователями. Модель является одной из важнейших составляющих системы управления эксплуатационным состоянием автомобильных дорог и предлагается как дополнение к традиционным инструментальным методам, применяемым в отечественной дорожной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Солодкий А.И.* Государево дело // Автомобильные дороги. 2005. № 12. С. 34—37.
2. *Кейрос Ц.* Техничко-экономические аспекты износа и эксплуатации автомобильных дорог // Транспорт: Наука, техника, управление. 1993. № 6. С. 5—20.
3. *Васильев Ю.В., Беляков А.В.* Автомобильно-дорожный сканер «АДС-МАДИ» // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. № 2. С. 10—11.
4. ОДМ 218.0.000—2003. Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог (Временное) : утв. распоряжением Государственной службы дорожного хозяйства. Взамен Временного руководства по оценке уровня содержания автомобильных дорог. Введ. 1 января 2004 г.
5. ГОСТ Р 50597—93. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Государственный стандарт РФ : утв. и введ. постановлением Госстандарта России от 11.10.93 № 221.
6. *Скоробогатченко Д.А.* Применение нечетких нейросетевых моделей для прогнозирования уровня содержания автомобильных дорог // Дороги и мосты. 2010. Вып. 23/1. С. 138—146.
1. *Solodkii A.I.* Gosudarevo delo / Avtomobilnye dorogi. 2005. № 12. S. 34—37.
2. *Queiroz C.* Tehniko-ekonomicheskiye aspekty iznosa u ekspluatatsii avtomobilnykh dorog // Transport: Nauka, tekhnika, upravleniye. 1993. № 6. S. 5—20.
3. *Vasiliev Y.V., Belyakov A.V.* Avtomobilno-dorozhnyy skaner «ADS-MADI» // Nauka u tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2008. № 2. S. 10—11.
4. ODM 218.0.000—2003. Rukovodstvo po otsenke urovnya sodержaniya avtomobilnykh dorog (Vremennoe) : utv. rasporyazheniyem Gosudarstvennoy sluzhby dorozhnogo hozyaystva. Vzamen Vremennogo rukovodstva po otsenke urovnya sodержaniya avtomobilnykh dorog. Vved. 1 yanvarya 2004 g.
5. GOST 50597—93. Avtomobilnyye dorogi i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Gosudarstvennyy standart RF : utv. and vved. postanovleniyem Gosstandarta Rossii ot 11.10.93 № 221.
6. *Skorobogatchenko D.A.* Primeneniye nechetkikh neyrosetevykh modeley dlya prognozirovaniya urovnya sodержaniya avtomobilnykh dorog // Dorogi u mosty. 2010. Vyp. 23 / 1. S. 138—146.

© Скоробогатченко Д.А., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 625.7.711

С.М. Евтеева

СРОК СЛУЖБЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований сравнения эксплуатационных свойств горизонтальной дорожной разметки на шероховатой поверхностной обработке с разметкой, нанесенной на дорожное покрытие с естественной шероховатостью. Подробно описаны методики и оборудование для проведения полевых испытаний основных эксплуатационных характеристик горизонтальной разметки: степени износа, коэффициента световозвращения для условий темного времени суток при сухом покрытии, коэффициентов сцепления разметки и дорожного покрытия с колесом автомобиля. Содержатся практические рекомендации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дорожная разметка, разметочный материал, шероховатая поверхностная обработка, износ разметки.

Results of experimental researches of the comparison of running abilities of the horizontal traffic sign on the chilled surface dressing with layout plotted on the road surface with the natural roughness are resulted. Techniques and equipment to field trial the application requirements of the horizontal marking are described in detail: deterioration rate, luminous reflectivity for night-time conditions at the dry covering, traction coefficient of layout and road surface with wheel car. Practical recommendations are contained.

K e y w o r d s: traffic sign, marking material, chilled surface dressing, runout marking.

В отечественной и зарубежной практике дорожного строительства широкое распространение получила шероховатая поверхностная обработка (ШПО), обеспечивающая повышение коэффициента сцепления дорожного покрытия с колесом автомобиля и выполняющая одновременно функции защитного слоя износа и гидроизоляции, предохраняющего основные конструктивные слои дорожных одежд от преждевременного разрушения, обеспечивающего хорошее дренирование поверхностных вод, сопротивление формированию гололеда и в конечном итоге продлевающего срок службы дорожного покрытия.

Структура поверхности дорожного покрытия оказывает существенное влияние на технологию нанесения разметочного материала и эксплуатационные свойства горизонтальной дорожной разметки. Процесс нанесения дорожной разметки на ШПО обладает рядом технологических особенностей. Очевидно, что необходимость покрытия шероховатой поверхности сплошным равномерным слоем разметочного материала требует повышенного расхода краски (эмали) и микростеклошариков по сравнению с дорожными покрытиями со сравнительно гладкой поверхностью. Кроме того, нанесение горизонтальной дорожной разметки на ШПО требует применения специального комплекта машин и оборудования для более тщательной подготовки поверхности покрытия к нанесению разметочного материала, так как в углублениях шероховатостей скапливается большое количество пыли и загрязнений, что приводит к отслаиванию слоя разметочного материала в процессе эксплуатации дорожной разметки. Особенно это проявляется на участках, расположенных в непосредственной близости к пересечениям с грунтовыми

дорогами, в местах расположения краевых линий, близких к неукрепленным обочинам, что приводит к значительному снижению эксплуатационных показателей и сокращению срока службы дорожной разметки. Все это вызывает необходимость исследования особенностей изменения основных характеристик дорожной разметки на асфальтобетонных покрытиях с ШПО по сравнению с асфальтобетонными покрытиями с естественной шероховатостью в процессе эксплуатации дорожной разметки.

Специалистами «Испытательного лабораторного центра контроля качества дорожно-строительных материалов и дорожной разметки» на базе ООО «ВолгаСтандарт-Д» (г. Саратов), имеющего большой опыт контроля качества применяемых разметочных материалов и дорожной разметки в Приволжском федеральном округе и за его пределами, совместно с сотрудниками Саратовского государственного технического университета были проведены экспериментальные исследования, целью которых являлось сравнение эксплуатационных показателей дорожной разметки на асфальтобетонных покрытиях с ШПО и без нее.

Экспериментальные исследования проводились на участках автомобильных дорог федерального значения Пенза — Тамбов, М-6 «Каспий» и М-5 «Урал» II технической категории. В качестве разметочных материалов использовались краски АК «Кронос», АК-101 РДК-1, АК-11 «Спринтер» с поверхностной посыпкой микростеклошариками марки «Люкс 100-600». В процессе нанесения дорожной разметки на покрытие был установлен средний расход разметочных материалов. Расход для краски определялся по методу изменения толщины сырого слоя и плотности, при котором ступенчатый брус с шагом 25 мкм на стальных пластинах подкладывался под распыляющее устройство разметочной машины, для микростеклошариков — по методу отбора весовой пробы путем подвешивания пробоотборника на распыляющее устройство разметочной машины в момент нанесения линии дорожной разметки. Средний расход краски на экспериментальных участках для АК «Кронос» составил 730 г/м^2 при толщине жидкого слоя 450 мкм, для АК-101 РДК-1 — 678 г/м^2 при толщине жидкого слоя 400 мкм, для АК-11 «Спринтер» — 722 г/м^2 при толщине жидкого слоя 450 мкм. Средний расход микростеклошариков, используемых для поверхностной посыпки слоя краски АК «Кронос», составил 202 г/м^2 , для АК-101 РДК-1 — 145 г/м^2 , для АК-11 «Спринтер» — 194 г/м^2 .

Линии дорожной разметки, наносимые с применением одинаковых материалов, дублировались на асфальтобетонном покрытии с ШПО и без нее. Для установления влияния структуры поверхности дорожного покрытия на эксплуатационные характеристики дорожной разметки проводились инструментальные измерения основных показателей осевой линии. При этом использовалось следующее оборудование: с применением ретрорефлектометра ZENHTNER ZRM 1013 проводилось измерение коэффициента световозвращения для условий темного времени суток при сухом состоянии покрытия; на приборе ППК-МАДИ ВНИИБД оценивались величины коэффициентов сцепления дорожной разметки и покрытия автомобильной дороги с колесом автомобиля. Для определения степени износа линий разметки по площади применялась специальная палетка, представляющая собой прозрачную пленку размером $180 \times 240 \text{ мм}$ с прямоугольной сеткой ячеек $10 \times 10 \text{ мм}$. Палетка

накладывалась на очищенную от загрязнений линию разметки непосредственно на автомобильной дороге и проводилась ее съемка цифровым фотоаппаратом, установленном на штативе, с последующей обработкой полученного изображения на компьютере. Измерения основных эксплуатационных характеристик линий дорожной разметки проводились непосредственно после ее нанесения на покрытие, а также через 3 и 6 месяцев ее эксплуатации. Результаты исследований приведены в таблице.

Наличие ШПО на поверхности дорожного покрытия оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства дорожной разметки. Коэффициент световозвращения для условий темного времени суток на покрытиях с ШПО непосредственно после нанесения линий разметки на 25...50 % ниже, чем на асфальтобетонных покрытиях с естественной шероховатостью. Такое резкое снижение эффекта световозвращения обусловлено влиянием «теневой» зоны освещения разметки в углублениях шероховатости светом фар автомобилей в ночное время суток [1]. В этом случае световозвращение обеспечивается стеклошариками, находящимися лишь на поверхности выступов шероховатости.

Инструментальные измерения после 3 месяцев эксплуатации дорожной разметки показали снижение коэффициента световозвращения на ШПО в 2-3 раза по сравнению с асфальтобетонным покрытием со сравнительно гладкой поверхностью, что подтверждается и другими экспериментальными исследованиями [2]. Видимо, это объясняется более интенсивным истиранием разметки на поверхности выступов зерен каменного материала, приводящим к механическому выкрашиванию микростеклошариков из слоя разметочного материала. Кроме того, коэффициент световозвращения дорожной разметки, нанесенной краской АК-101 РДК-1 как на покрытие с ШПО, так и без нее, до 40 % ниже, чем световозвращение разметки, нанесенной красками АК «Кронос» и АК-11 «Спринтер», что можно объяснить меньшим расходом (на 24...28 %) применяемых для поверхностной посыпки микростеклошариков по сравнению с другими красками. Анализ полученных результатов показывает необходимость увеличения удельного расхода микростеклошариков при нанесении дорожной разметки на покрытие с ШПО на 50...70 % и применения микростеклошариков более крупных фракций по сравнению с дорожной разметкой, наносимой на асфальтобетонное покрытие с естественной шероховатостью.

Необходимо отметить, что наличие на поверхности дорожного покрытия ШПО приводит к большому разбросу показателя световозвращения дорожной разметки, поэтому для получения более объективной оценки на таких участках необходимо увеличивать в два раза количество измерений коэффициента световозвращения.

Износ линий разметки по площади на ШПО после 3 месяцев эксплуатации в 1,9...2,2 раза, а после 6 месяцев в 1,3...1,5 раза выше, чем на асфальтобетонном покрытии без ШПО. Такая потеря износостойкости линий разметки на ШПО объясняется некоторыми особенностями механического истирания самой поверхностной обработки. Износ линий дорожной разметки на асфальтобетонном покрытии, имеющем сравнительно гладкую поверхность, происходит главным образом вследствие истирания слоя разметочного материала под действием проходящего автотранспорта.

*Основные эксплуатационные свойства линий дорожной разметки
на экспериментальных участках*

№ измерения	Разметочный материал	Тип асфальтобетонного покрытия	Срок эксплуатации дорожной разметки, мес.	Износ линии разметки по площади, %	Коэффициент световозвращения для условий темного времени суток при сухом покрытии, мкд·лк ⁻¹ ·м ²	Коэффициент сцепления с колесом автомобиля		Отношение коэффициента сцепления с колесом автомобиля на линии разметки к коэффициенту сцепления на покрытии
						линии разметки	покрытия автомобильной дороги	
1	Краска АК «Кронос»	С естественной шероховатостью	0	0	304	0,26	0,36	0,83
2			3	13	226	0,23	0,30	0,75
3			6	67	—	—	—	—
4		С шероховатой поверхностной обработкой	0	0	161	0,40	0,41	0,98
5			3	28	76	0,36	0,38	0,95
6			6	84	—	—	—	—
7	Краска АК-101 РДК-1	С естественной шероховатостью	0	0	213	0,22	0,26	0,85
8			3	12	169	0,16	0,20	0,79
9			6	66	—	—	—	—
10		С шероховатой поверхностной обработкой	0	0	106	0,38	0,40	0,95
11			3	24	55	0,35	0,37	0,94
12			6	97	—	—	—	—
13	Краска АК-11 «Спринтер»	С естественной шероховатостью	0	0	249	0,23	0,28	0,82
14			3	14	114	0,19	0,24	0,79
15			6	67	—	—	—	—
16		С шероховатой поверхностной обработкой	0	0	184	0,45	0,46	0,97
17			3	26	55	0,40	0,42	0,95
18			6	88	—	—	—	—

Главной особенностью износа разметки на покрытии с ШПО является то, что он связан с истиранием самого каменного материала, применяемого для устройства ШПО. Непосредственно после нанесения разметки на покрытие с ШПО поверхности выступов и углубления шероховатостей покрыты сплошным равномерным слоем разметочного материала. Первоначальным этапом износа является истирание разметочного материала на поверхностях выступов зерен каменного материала, затем истирание слоя разметочного материала происходит синхронно с истиранием зерен каменного материала поверхностной обработки, поэтому порода минеральной части, марка применяемого для устройства ШПО щебня по прочности и износу оказывают существенное влияние на фактический срок службы дорожной разметки.

Выводы. Анализ сравнения полученных результатов показывает, что для обеспечения износостойкости дорожной разметки на асфальтобетонном покрытии с ШПО на одном уровне с разметкой на асфальтобетонном покрытии с естественной шероховатостью при нанесении разметки на покрытие с ШПО необходимо увеличивать расход краски (эмали) до 70 % и отдавать предпочтение разметочным материалам с большей вязкостью.

Результаты измерений сцепных характеристик показали, что отличие коэффициента сцепления линий дорожной разметки с колесом автомобиля от коэффициента сцепления на дорожном покрытии не превышает 6 %. Отношение коэффициента сцепления на разметке к коэффициенту сцепления на покрытии во всех случаях находится в пределах 0,75...1,25, что полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 51256—99. Следовательно, использование для нанесения дорожной разметки на покрытие с ШПО красок и эмалей не вызывает существенного снижения коэффициента сцепления линий разметки по сравнению с коэффициентом сцепления на покрытии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочкарев В. «Плюс» и «минус» дорожной разметки на поверхностной обработке // Автомобильные дороги. 2005. № 4. С. 19—21.
2. Арчибасов И.А. Динамика световозвращения на ШПО // Автомобильные дороги. 2008. № 4. С. 125—126.
1. Botchkarev V. “Plyus” i “minus” dorozhnoy razmetki na poverkhnostnoy obrabotke // Avtomobil’nyye dorogi. 2005. № 4. S. 19—21.
2. Archibasov I.A. Dinamika svetovozvrashcheniya na ShPO // Avtomobil’nyye dorogi. 2008. № 4. S. 125—126.

© Евтеева С.М., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 624.011.9:620.169.1

А.Д. Корнеев, П.В. Борков, А.Б. Бондарев, Л.А. Прозорова

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ
В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрен вопрос прогнозирования долговечности полимербетонных конструкций. Предложены принципы обеспечения безопасной эксплуатации конструкций транспортных сооружений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: долговечность, полимербетон, транспортное сооружение.

In article the question of forecasting of durability polymerconcrete is considered. Principles of maintenance of safe operation of designs of transports constructions are offered.

К e y w o r d s: durability, polymerconcrete, transports construction.

Результаты технических обследований транспортных сооружений (мостов и путепроводов), выполненных в 2008—2010 гг. на автомобильных дорогах Калужской и Липецкой областей (всего более 80 объектов), показывают, что наиболее распространенными (более 70 %) являются дефекты, связанные с разрушением системы гидроизоляции — водоотвод. Такие дефекты приводят к интенсивному намоканию нижележащих конструкций мостового сооружения, дефектам поверхности главных балок, опор, опорных частей, коррозии бетона, арматуры и снижению грузоподъемности сооружения.

Вопрос обеспечения безопасной работы эксплуатируемых мостов и путепроводов является актуальной научно-технической задачей. На рис. 1 приведены основные этапы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций.

Комплексный подход к решению проблем надежности и работоспособности элементов конструкций на различных транспортных объектах включает:

анализ состояния материалов несущих конструкций и сооружений с учетом технологии изготовления и эксплуатационных дефектов;

определение характера, параметров, расположения и размеров дефектов в материале конструкции;

расчетный и экспериментальный анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций;

исследование механизмов старения материалов;

анализ предельного состояния несущих элементов конструкций;

оценка работоспособности конструкций и долговечности материалов на разных стадиях повреждений;

расчетно-экспериментальное определение длительной и кратковременной прочности и остаточного ресурса.

Одним из опасных факторов, оказывающих влияние на материал элементов конструкций мостов и путепроводов, является применение для борьбы с гололедом песчано-солевых смесей и других агрессивных реагентов. Это приводит к снижению долговечности плит проезжей части и всего сооружения в целом. Хлориды, беспрепятственно проникающие в толщу бетона, делятся на три вида: свободные ионы хлорида, хлориды, тесно связанные с гидроксидом силиката кальция, хлориды в виде компаундов.



Рис. 1. Основные принципы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций

Считается, что хлориды-компаунды не вызывают коррозии арматурной стали. Связанные хлориды могут оказывать и не оказывать агрессивного влияния на арматуру. Однако свободные ионы хлорида могут вызывать процесс коррозии; при этом хлориды сами по себе не являются причиной коррозии, они лишь создают коррозионную атмосферу. До применения NaCl для борьбы с гололедом проблем с коррозией не существует. Арматурная сталь не корродирует в железобетоне, изготовленном на портландцементе, в связи с высоким pH (12...13). В результате высокого pH на поверхности арматуры образуется пленка, которая играет роль защитного покрытия. Когда растворимые хлориды попадают в бетон, защитная среда с высоким содержанием pH начинает нейтрализоваться. После нарушения нормальной пассивности стали и необходимой щелочности начинается процесс коррозии стали с увеличением объема железобетона. Это увеличение вызывает появление напря-

жений, которые превышают прочность бетона на растяжение, в результате чего в бетоне образуются трещины.

Для борьбы с этим явлением существует несколько способов:

защита поверхности арматуры эпоксидной смолой;

гальванизирование стали;

применение латексного бетона;

пропитка бетона полимерами.

В настоящее время исследуются такие способы, как катодная защита, нейтрализация хлоридов и пропитка полимерами. Степень требования к антикоррозийной защите в предварительно-напряженных плитах проезжей части сталежелезобетонных мостов должна быть выше, чем в конструкциях из обычного железобетона, в связи с тем что в предварительно-напряженных конструкциях применяется гладкая арматура в виде проволок, в результате чего относительно малая потеря сечения оказывает большое влияние на несущую способность плит проезжей части. Кроме того, наличие в стали постоянно высоких растягивающих напряжений делает ее более восприимчивой к коррозии. Прочный непроницаемый бетон обычно является хорошей антикоррозийной защитой предварительно напряженной арматуры. Увеличение защитного слоя вплоть до определенных границ приводит к повышению защиты. Сравнительно тонкий слой тонкого и высокопрочного бетона может обеспечивать соответствующую защиту против карбонизации. Вполне очевидно, что с помощью соответствующих мер необходимо бороться с образованием трещин, нарушающих эту защиту.

За рубежом (США, Великобритания и др.) все большее применение находит способ, который заключается в двухэтапной укладке бетона, когда в начале укладывается слой из обычного бетона, а затем устраивается слой плотного бетона. В нашей стране и странах СНГ широко используется способ применения модифицированных фурановых смол для гидроизоляционных и антикоррозийных мероприятий плит проезжей части мостов и путепроводов, который будет изложен ниже.

На следующем этапе производится оценка фактического состояния материала эксплуатируемой конструкции с определением параметров характера, растяжения, дефектов.

Основные дефекты железобетонных конструкций мостового полотна приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные дефекты железобетонных конструкций мостового полотна

Элементы мостового полотна	Дефекты	Процентное соотношение дефектов, %
1. Покрытие	Трещины	25,0
	Неровности	30,0
	Разрушения	10,0
	Одиночные выбоины	10,0
	Частые выбоины	15,0
	Разрушение покрытия и нижележащих слоев (защитного слоя и др.)	9,0
	Отсутствие покрытия	1,0

Окончание табл. 1

2. Гидроизоляция	Одиночные точечные протечки в плитах снизу	10,0
	Локальные протечки	30,0
	Протечки по плитам	60,0
3. Система водоотвода	Застой воды на ездовом полотне	10,0
	Застой воды на тротуаре	5,0
	Отсутствие уклонов	20,0
	Дефекты водоотводных труб	25,0
	Дефекты организованного продольного стока воды	14,0
	Нарушение водосброса на подходах	10,0
4. Деформационные швы	Дренаж	16,0
	Нарушение герметичности	65,5
	Нарушение плавности проезда	30,5

На третьем этапе разрабатываются мероприятия по восстановлению и замене элементов конструкций. И.М. Елшиным и Р.М. Окоповой [1, 2] получены новые материалы, которые отличаются от других видов композиционных материалов высокой технологичностью, повышенной трещиностойкостью, способностью к отверждению как в сухой, так и во влажной среде. Для ремонта элементов конструкций плит проезжей части применяются:

1) фурано-эпоксидная смола ФАЭС-30 (ТУ 6-05-211-1313—84), получаемая путем смешивания фурфуролацетонного мономера ФАМ (ТУ 59-02-039-07—79) с алкилрезорциновой смолой ЭИС-1 (ТУ 38-109-1—71) или АРЭМ-2-20. Соотношение смол — 70:30 в массовых частях.

Аналогичными свойствами обладает смола ФАЭД-20, получаемая смешиванием при подогреве на водяной бане мономера ФАМ с диановой эпоксидной смолой ЭД-20 (ГОСТ 10587—84):

пластификатор, жидкий нитрильный каучук СКН-18-1А или СКН-26-1А (ТУ 38-103-16—70);

отвердитель, полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-594—80) или кубовые остатки гексаметилендиамина (ТУ 733-03-20-71—83);

стеклоткань Т-10, Т-11, Т-13.

Смола ФАЭС-30 — низковязкая темно-коричневая жидкость, характеризующаяся следующими показателями:

плотность — 1,14 г/см³;

вязкость (по ВЗ-4) — 26 с;

содержание сухого остатка — 82 %;

скорость желатинизации при 120 °С с 20% ПЭПА — 266 с.

Количество отвердителя (ПЭПА) в смоле ФАЭС-30 определялось с учетом необходимой жизнеспособности и степени отверждения композиции. Образцы для испытаний на выносливость изготавливались по традиционной технологии с использованием фурано-эпоксидных композиций ФАЭС-30;

2) полимербетон на основе смолы ФАМ (ТУ 6-05-211-1313—84);

3) полимербетон на основе полиэфирной смолы ПН-609-21М (МРТУ №6-05-1306—70).

И если полиэфирные, фуфуролацетоновые полимербетоны достаточно изучены, то композиции на основе фурано-эпоксидной смолы ФАЭИС-30 исследовались только представителями школы И.М. Елшина, однако ими не были освещены вопросы работы конструкции на их основе под действием циклических нагрузок.

Для изучения циклической долговечности вышеуказанных материалов были проведены исследования, позволяющие получить усталостные характеристики (предел и коэффициент выносливости полимербетона на основе смолы ФАЭИС-30). Основные физико-механические характеристики исследуемых материалов в сравнении с полимербетонами ФАМ и ПН-609-21М приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Основные физико-механические характеристики исследуемых материалов

Характеристики полимербетонов	Полимербетоны		
	ПН-609-21М	ФАЭИС-30	ФАМ
1. Предел прочности, МПа:			
на сжатие	84,0	87,0	63,2
растяжение	10,0	12,0	7,0
изгиб	25,0	30,5	15,0
2. Модуль упругости, МПа	26300	32100	19200
3. Коэффициент выносливости при ρ , равном:			
0,1	0,43	0,46	0,42
0,3	0,5	0,54	0,48
0,6	0,52	0,56	0,50

Эксперименты проводились на образцах-призмах размером $4 \times 4 \times 160$ на панели ИРМ-10. На рис. 2 приведены результаты усталостных испытаний вышеуказанных материалов, из которых видно, что наибольшую циклическую долговечность имеют полимербетоны ФАЭИС-30, затем ПН-609-21-М и полимербетон ФАМ. На рис. 3 приведены графики изменения коэффициентов выносливости для исследуемых материалов, из которых видно, что наиболее высокие коэффициенты имеет полимербетон ФАЭИС-30.

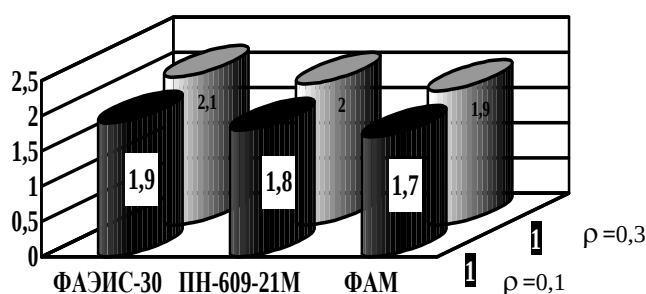


Рис. 2. Результаты усталостных испытаний полимербетонов

Коэффициент выносливости k_v используется для оценки прочности полимербетона и является одной из основных характеристик его работоспособности. Как правило, его изменение зависит от внутреннего состояния полимер-

бетона и воздействия внешних факторов, к которым относятся величина напряжения σ_{sp} (максимальное напряжение цикла), коэффициенты асимметрии

$k_{as} = \sigma_{min}/\sigma_{max}$, где σ_{min} — минимальное напряжение цикла; σ_{max} — максимальное напряжение цикла.

Оценка остаточного ресурса элементов конструкций мостовой плиты выполнена по методике [3, 4] для расчета асфальтобетонных покрытий.

Для этих целей были проведены экспериментальные работы по исследованию выносливости полимербетонов при постоянном коэффициенте асимметрии циклов применяемых нагрузок $\rho = 0,3$. Испытаниям были

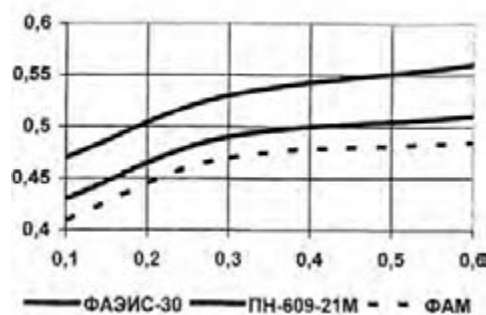


Рис. 3. Графики изменения коэффициентов выносливости

подвержены образцы, изготовленные 40 и 20 лет тому назад и хранившиеся в течение этого времени в нормальных температурно-влажностных условиях. Кроме того, была изготовлена серия образцов размерами 40×40×160 мм такого же состава на мономере ФАМ. Испытания проводились в одних и тех же условиях и на одной и той же испытательной машине ИРМ-10.

Результаты таких испытаний показали, что коэффициент выносливости снизился с 0,43 до 0,25, т.е. на 41 %, а остаточный ресурс, определенный по методике [4], составил 15 лет. Таким образом, результаты исследований подтвердили правильность выбранных принципов обеспечения безопасности элементов конструкций транспортных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елишин И.М. Полимеры в гидротехническом строительстве // Бетон и железобетон. 1984. № 8. С. 5—10.
2. Окопова Р.М. Опыт ремонта бетонных и железобетонных облицовочных мелиоративных систем полимерным материалом // Экспресс-информация ЦНТИ Минводхоза СССР. 1976. Вып. 5.
3. Илиополов С.К. Динамика дорожных конструкций. Ростов н/Д : Юг, 2002. 260 с.
4. Углова Е.В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного ресурса асфальтобетонных покрытий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград, 2009. 38 с.
1. Yelshin I.M. Polimery v gidrotekhnicheskom stroitel'stve. 1984. № 8. S. 5—10.
2. Okopova P.M. Opyt remonta betonnykh i zhelezobetonnykh oblitsovochnykh meliorativnykh system polimernym materialom // Ekspress-informatsiya TsNTI Minvodkhoza SSSR. 1976. Vyp. 5.
3. Iliopolov S.K. Dinamika dorozhnykh konstruksiy. Rostov n/D : Yug, 2002. 260 s.
4. Uglova Ye.V. Teoreticheskiye i metodologicheskiye osnovy otsenki ostatochnogo resursa asfal'tobetonnykh pokrytiy : avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Volgograd, 2009. 38 s.

© Корнеев А.Д., Борков П.В., Бондарев А.Б., Прозорова Л.А., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 656.13.07

Л.О. Казачкова, С.В. Алексиков

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

На основе теории подобия исследован расход топлива транспортным потоком для различных городских улиц и дорог согласно принятой классификации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: расход топлива транспортным потоком, подобные явления, критерий подобия, константы подобия, городские улицы и дороги.

The fuel consumption of the traffic stream for various urban streets and township roads under the accepted classification is investigated on the basis of the similarity theory.

K e y w o r d s: fuel consumption by the traffic stream, similar phenomena, simulation criterion, constant similarity, urban streets and township roads.

Явление, подобное заданному, может быть получено путем такого преобразования, когда каждый характеризующий его параметр изменяется в определенное число раз [1].

Вместе с тем надо иметь в виду, что явления, друг другу подобные, различаются только абсолютными значениями величин, поэтому и в условии надо изменять только абсолютные значения задаваемых величин, но не законы их распределения. Таким образом, для подобия явлений необходимо и достаточно, чтобы были выполнены следующие требования:

- 1) тождественность уравнений;
- 2) подобие условий однозначности.

Вопрос о совместимости обоих требований приводит к задаче об условиях инвариантности уравнений по отношению к подобным преобразованиям.

Условие необходимости и достаточности для инвариантности уравнений по отношению к подобным преобразованиям заключается в гомогенности функции, то есть функция должна обладать особым свойством, таким, что подобное преобразование отдельных переменных приводит к подобному преобразованию функции в целом. Следует отметить, что функция обладает свойством гомогенности только в том случае, если представляет собой степенной комплекс, иными словами, представлена в виде, например, производственной функции [2]:

$$f = C_0 \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}. \quad (1)$$

В общем виде переход от $x'_1, \dots, x'_n$ — параметров одного явления — к $x''_1, \dots, x''_n$ — параметрам другого, ему подобного, — может быть выражен уравнением

$$x'_i = c_{x_i} x''_i \quad |_{i=1}^n, \quad (2)$$

где c_{x_i} — константы подобия.

Для каждой пары величин константы подобия имеют свое численное значение, поэтому помечаются соответствующими индексами. Они опреде-

ляются отношением значения величины подобного явления к ее значению в базовой модели:

$$c_{x_i} = \frac{x_i}{x_i}. \quad (3)$$

В ходе исследования выявлено, что расход топлива транспортным потоком определяется формулой

$$Q = 3,09 L^{0,94} B^{-0,56} V^{-1,21} N^{1,22}. \quad (4)$$

Это уравнение буквенно (алгебраически) одинаково для всех подобных систем, но численные значения входящих в него величин для каждой из систем будут свои.

Для базовой системы будем иметь

$$Q_0 = 3,09 L_0^{0,94} B_0^{-0,56} V_0^{-1,21} N_0^{1,22}. \quad (5)$$

Для первой системы будем иметь

$$Q_1 = 3,09 L_1^{0,94} B_1^{-0,56} V_1^{-1,21} N_1^{1,22}. \quad (6)$$

Вследствие подобия явлений и согласно свойству гомогенности:

$$Q_1 = c_Q Q_0, \quad L_1 = c_L^{0,94} L_0, \quad B_1 = c_B^{-0,56} B_0, \quad V_1 = c_V^{-1,21} V_0, \quad N_1 = c_N^{1,22} N_0. \quad (7)$$

После подстановки равенств (7) в уравнение (4) получим

$$\left[\frac{c_Q}{c_L^{0,94} c_B^{-0,56} c_V^{-1,21} c_N^{1,22}} \right] Q_0 = 3,09 L_0^{0,94} B_0^{-0,56} V_0^{-1,21} N_0^{1,22}. \quad (8)$$

Таким образом, имеются два уравнения (5) и (8), связывающие между собой одни и те же величины L_0, B_0, V_0, N_0 . Эти уравнения совместимы только при условии, что

$$\frac{c_Q}{c_L^{0,94} c_B^{-0,56} c_V^{-1,21} c_N^{1,22}} = 1. \quad (9)$$

Равенство (9) является обуславливающим подобие равенством или условием подобия. Оно показывает, что константы подобия нельзя выбирать произвольно. Поскольку величины связаны между собой уравнением (4), константы подобия также взаимосвязаны, так что в нашем случае четыре выбираются произвольно, а пятая определяется из равенства (9):

$$c_Q = c_L^{0,94} c_B^{-0,56} c_V^{-1,21} c_N^{1,22}. \quad (10)$$

Равенству (10) можно придать и другой вид, подставив в него выражения для констант подобия из (7), получим

$$\frac{Q_0}{L_0^{0,94} B_0^{-0,56} V_0^{-1,21} N_0^{1,22}} = \frac{Q_1}{L_1^{0,94} B_1^{-0,56} V_1^{-1,21} N_1^{1,22}}, \quad (11)$$

т.е. комплекс $\frac{Q}{L^{0,94} B^{-0,56} V^{-1,21} N^{1,22}}$ одинаков для всех подобных между

собой явлений, следовательно:

$$K = \frac{Q}{L^{0,94} B^{-0,56} V^{-1,21} N^{1,22}} = \text{idem}. \quad (12)$$

Комплекс K является инвариантом подобия, или критерием подобия. Таким образом,

$$Q_1 = c_Q Q_0. \quad (13)$$

Следует оговориться, что в базовой системе значения величин L_0 , B_0 , V_0 , N_0 являются нормативными величинами и берутся из СНиП 2.07.01—89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» и «Рекомендаций по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений».

Нахождение констант подобия производилось для каждого конкретного случая в рамках имеющейся классификации городских улиц и дорог согласно СНиП 2.07.01—89. Для каждой категории улиц и дорог берется наименьшее количество полос движения (из возможных согласно СНиП 2.07.01—89). Затем находятся значения ширины проезжей части и интенсивности движения. В базовой системе L_0 равняется 1 км.

В табл. 1 для каждой категории улиц и дорог приводятся значения величин B_0 , V_0 , N_0 и полученные расчетным путем согласно уравнению (4) значения расхода топлива транспортным потоком.

Т а б л и ц а 1

Значения величин L_0 , B_0 , V_0 , N_0 и Q_0 для каждой категории улиц и дорог

Категория дорог и улиц	V_0 , км/ч	B_0 , м	N_0 , при- вед. ед./ч	Q_0 , л · км/ч
Магистральные дороги:				
скоростного движения	120	15	4800	64
регулируемого движения	80	7	1600	42
Магистральные улицы:				
общегородского значения:				
непрерывного движения	100	15	4800	80
регулируемого движения	80	14	2800	56
районного значения:				
транспортно-пешеходные	70	7	1000	28
пешеходно-транспортные	50	8	1400	58
Улицы и дороги местного значения:				
улицы в жилой застройке	30	6	200	12
улицы и дороги научно-производственных, промышленных и коммунально-складских районов	40	7	600	29
парковые дороги	40	6	400	20
Проезды:				
основные	40	5,5	300	14
второстепенные	30	3,5	50	3

В ходе исследования определены значения констант подобия для рассматриваемых категорий улиц и дорог. В качестве примера приводятся полученные значения констант подобия для магистральных улиц общегородского значения регулируемого режима (табл. 2) и констант подобия для длины рассматриваемого участка автомобильной дороги (табл. 3).

Т а б л и ц а 2

Значения констант подобия для магистральных улиц общегородского значения регулируемого режима

V	40	50	60	70	80
C_V	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00
$c_V^{-1,21}$	2,31	1,77	1,42	1,18	1,00
B	14	17,5	21	24,5	28
C_B	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$c_B^{-0,56}$	1,00	0,88	0,80	0,73	0,68
N	2800	3500	4200	4900	5600
C_N	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$c_N^{-0,56}$	1,00	1,31	1,64	1,98	2,33

Т а б л и ц а 3

Значения констант подобия для L

L	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
c_L	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$c_L^{0,94}$	0,22	0,42	0,62	0,81	1,00	1,19	1,37	1,56	1,74

Приведем пример. Пусть необходимо определить расход топлива транспортным потоком на магистральной улице общегородского значения регулируемого движения, если известны следующие данные:

- 1) ширина проезжей части равна 21 м;
- 2) интенсивность движения — 4200 приведенных ед./ч;
- 3) длина улицы — 1,2 км;
- 4) скорость движения транспортного потока — 60 км/ч.

Из табл. 2 известно, что расход топлива транспортным потоком на магистральной улице общегородского значения регулируемого движения для базовой системы равен 56 л · км/ч.

Для определения расхода топлива транспортным потоком:

в табл. 5 находятся значения констант подобия;

согласно формуле (10) определяется c_0 .

В нашем случае $c_0 = 1,19 \cdot 0,8 \cdot 1,42 \cdot 1,64 = 2,2$. Следовательно, для рассматриваемого случая $Q = c_0 \cdot Q_0 = 2,2 \cdot 56 = 123,2$ л · км/ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. М. : Высш. шк., 1973. 296 с.
2. Кирпичев М.В. Теория подобия и тепловое моделирование. М. : Наука, 1987. 166 с.

1. Gushman A.A. Vvedeniye v teoriyu podobiya. M. : Vyssh. shk., 1973. 296 s.
2. Kirpichev M.V. Teoriya podobiya i teplovoe modelirovaniye. M. : Nauka, 1987. 166 s.

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

© Казачкова Л.О., Алексиков С.В., 2010

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.3

О.Е. Баранникова, И.В. Надеева

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрены вопросы формирования и исследования полимерных строительных композитов на основе техногенных эпоксидсодержащих отходов. Процесс производства полимерного строительного композита рассматривается с позиции последовательных преобразований: состав — технология — структура — свойство. Обосновано изучение строения и свойств многокомпонентных составов строительных материалов с использованием комплексного подхода к набору методов исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: композит, полимерная композиция, техногенные отходы, состав, структура, физико-химические свойства.

By working out of the building composite are considered: basic characteristics of the polymeric composition; physic mechanical characteristics of fillers and fillers; mineralogical structure of fillers (fillers) and their structural features. Questions formation and analysis of polymer building composites based on technological expositeinferous waste are considered. The manufacture process of the polymeric building composite is regarded from positions of consecutive transformations: composite — technology — structure — property. At studying of the formation processes of polymeric composite building the complex methodological approach is applicable. The research of structure and properties of multicomponent formulations of building materials to the complex approach to the set of the analysis is sounded.

K e y w o r d s: composite, polymeric composition, technogenic waste, structure, structure, physicochemical properties.

В промышленности страны наиболее емкой по потреблению техногенных отходов является отрасль строительных материалов, доля сырья которой в себестоимости продукции достигает 50 % и более. Каждый вид отходов или некондиционных сырьевых ресурсов требует своей технологии переработки, определенного набора оборудования и средств контроля качественных характеристик сырья и готовой продукции, а также длительной проверки эксплуатационных показателей в натурных условиях. Решение такой емкой и разноплановой проблемы может быть осуществлено на основе тщательной систематизации и классификации отходов и сырья по признакам происхождения, направлениям использования и способам переработки.

В зависимости от вида и исходных свойств используемого сырья на предприятиях строительной индустрии принимается тот или иной набор технологических операций, позволяющих получить материал или изделие с требуемым набором качественных показателей. При этом наиболее рациональ-

ными формами внедрения отходов и некондиционного сырья можно считать следующие: заполнители для бетонов и растворов; минеральные добавки в вяжущие вещества; органические заполнители и добавки; стеновые материалы и изделия; искусственные пористые заполнители; теплоизоляционные материалы; защитные покрытия; модифицированные различными связующими материалы, изделия и конструкции.

Кроме технических и экономических задач реализация проблемы использования техногенных отходов позволяет решить комплекс сопутствующих организационных задач:

- использование средств отдельных предприятий, хозяйств или группы организаций для создания собственной базы строительной индустрии и экономии затрат на приобретение материалов и изделий;

- использование в качестве ресурсов относительно небольших источников и запасов отходов и местного сырья;

- сокращение расхода минеральных вяжущих веществ;

- создание мобильных и стационарных линий по выпуску, например, шлакоблоков и других изделий с различной мощностью и низкой потребностью в трудовых ресурсах, что обеспечивает сокращение инвестиционного периода в 3...5 и более раз;

- обеспечение более низких затрат и экономии электроэнергии, воды, пара и других энергетических ресурсов при одновременном снижении затрат на транспорт;

- высвобождение территорий, занятых отвалами и отходами, и улучшение экологической обстановки за счет снижения негативного влияния отходов на природу.

В связи с приоритетными программами по жилищному, дорожному и другим видам строительства требуется большое количество разнообразных дешевых высококачественных строительных материалов и бетонов.

Разработка строительных материалов на основе комплексного использования техногенных отходов обусловлена эколого-экономическими факторами: во-первых, значительным ростом цен на цемент, природные заполнители, энергоносители и, во-вторых, ухудшением экологической ситуации в результате образования и накопления промышленных отходов.

Минимизировать экологические последствия от воздействия промышленных отходов можно путем их полной утилизации. Поэтому многие развитые страны используют в качестве минерального сырья не природные, а техногенные материалы и изготавливают из них принципиально новые виды высококачественных композиционных конструкционных материалов. Россия в этом плане значительно уступает.

Все эти и другие социально-экономические и экологические эффекты могут быть получены при определенном теоретическом и методологическом подходе в решении комплексных задач использования отходов, так как в большинстве отходов и местного сырья представляют собой некондиционные материалы с различными примесями и включениями, изменяющимися в широких пределах свойствами.

Комплексный анализ использования и переработки отходов и местного сырья при создании композиционных конструкционных материалов позволит установить наиболее перспективные направления применения их, осуществ-

вить моделирование свойств будущего материала, выбрать рациональное направление безотходной технологии в соответствии с реальной потребностью в конкретном наборе качественных параметров получаемого изделия или конструкции с учетом эксплуатационных показателей их работы.

Результатом исследований по использованию промышленных отходов в производстве строительных материалов с применением собственных оригинальных наработок являются новые технологии производства высококачественных композиционных конструкционных материалов.

Ограниченная химическая стойкость полимерных строительных композитов, их дороговизна ставят задачу разработки новых более эффективных их видов. Это представляется возможным при использовании компонентов полимерных композитов из дешевого местного сырья, обладающего требуемыми физико-химическими и физико-механическими характеристиками: связующего нетрадиционного вида, наполнителей и заполнителей, в том числе из отходов производств. Следует также отметить, что применение в качестве наполнителей и заполнителей отходов химических и металлургических производств позволяет не только снизить стоимость композитов, но часто и улучшить их физико-химические свойства, а также решить проблему утилизации техногенных отходов.

Актуальность проводимых авторами работ заключается в разработке многофункциональной полимерной композиции на основе отходов порошкообразной эпоксидной смолы в качестве матрицы полимерного строительного композита. Исследования и опытно-промышленные испытания разработанного состава полимерного композита позволяют сделать вывод о расширении областей его применения на основании улучшения в процессе разработки эксплуатационных характеристик материала (кислотощелочестойкости, морозостойкости и др.).

Научная новизна заключается в многофункциональности разрабатываемой композиции на основе техногенных эпоксидсодержащих отходов, развивающей полиструктурную теорию формирования полимерных композитов.

При проектировании нового состава полимерного строительного композита учитываются:

- 1) основные характеристики полимерной композиции;
- 2) физико-механические характеристики заполнителей и наполнителей;
- 3) минералогический состав заполнителей (наполнителей) и их кристаллохимические особенности.

Процесс производства полимерного строительного композита следует рассматривать с позиций последовательных преобразований: состав — технология — структура — свойство.

Под оптимальным составом композита следует подразумевать его расчетный состав по объемным или массовым дозировкам компонентов, скорректированным с учетом требований, определяющих формирование стабильной микроструктуры с наименьшим числом микродефектов.

Причинно-следственная связь между совокупностью существенных признаков проводимых исследований и достигаемым техническим результатом заключается в следующем. Разработка состава полимерного строительного композита на основе отходов эпоксидсодержащего порошка и модификации

его феноло-формальдегидной смолой позволяет использовать полимерный состав для изготовления изделий методом сухого прессования с последующей тепловой обработкой (200 °С), как энергосберегающего процесса для получения строительных композитов.

Эпоксидсодержащие отходы являются дисперсным порошковым материалом, прошедшим технологический передел нанесения на поверхность металла в качестве адгезива. При использовании порошкообразных эпоксидсодержащих отходов (ПЭО), модифицированных феноло-формальдегидной смолой (ФФС) (сухой порошкообразный материал промышленного производства), в технологической схеме получения полимерного строительного композита основной стадией является сухое смешивание кварцевого песка и щебня с полимерной матрицей (ПЭО + ФФС). В качестве отвердителя используется уротропин, входящий в состав ФФС в количестве 6...9 % в зависимости от марки ФФС.

Для характеристики пространственного распределения пор и твердых фаз в разрабатываемом полимерном композите наиболее общим термином является структура. Рассмотрение макро- и микроструктуры целесообразно не только с точки зрения масштаба, но и с точки зрения причин, обуславливающих то или иное строение материала. Технологические параметры производства (гранулометрический и химический состав, дисперсность, форма зерен компонентов, степень однородности смешения и т.п.) ответственны, главным образом, за макроструктуру. Процессы твердения, полимеризации, поликонденсации, различные граничные процессы, включая диффузионные, ответственны преимущественно за микроструктуру.

Макроструктура композиционных материалов характеризуется показателями: величиной и формой зерен компонентов и пор, их количественным соотношением и взаимным расположением. Микроструктура характеризуется следующими показателями: распределением кристаллов компонентов относительно друг друга (определение степени прямой связи), расположением, формой и размерами кристаллов, характером границ, признаками процессов формирования композита.

Очевидно, что к строительным композитам полностью применимы классические минералогические описания структур.

Нами разработан способ изготовления полированных шлифов из композиционных материалов с использованием на всех операциях обработки шлифа (за исключением окончательной его полировки) алмазным инструментом на органической связке (авторская разработка). Этот способ сокращает длительность обработки шлифа примерно в 5...10 раз, сводит к минимуму расход алмазных порошков и обеспечивает высокое и постоянное качество поверхности шлифованных шлифов. Строительные материалы относятся к материалам композиционного типа, поэтому использование авторских разработок при их комплексном исследовании считаем целесообразным.

Классические строительные материалы формируются из следующих основных компонентов: цемент, мелкий заполнитель — песок, крупный заполнитель — щебень, гравий. В настоящее время широко применяются новые виды заполнителей:

- 1) тугоплавкие соединения — SiC (карбид кремния);
- 2) металлические заполнители: дробь, стружка;

3) шлаки.

В качестве связующего широко применяются органические материалы, например полимеры, в частности эпоксидные смолы. Новые составы определяют новые свойства и новые области применения. В связи с этим актуальным на сегодняшний день является изучение строения и свойств многокомпонентных составов строительных материалов, используя комплексный подход к набору методов исследований.

На первоначальном этапе работ были проведены макроскопические исследования материалов образцов. Данный осмотр позволил охарактеризовать структуру образцов и выявить наличие крупных пор, трещин и других дефектов.

Правильно подобранные условия микроскопического исследования позволяют судить о структуре образцов, заполнители и т.д. Для всех исследуемых образцов характерна многофазно-полиэдрическая, плотная, типичная для дисперсно-упрочненного образца структура, матрица представлена в количестве приблизительно от 20 до 60 %. Присутствуют поры от 0,5 до 1,0...5,0 мм.

Методология исследования композита строительного назначения включает все стадии минералогических исследований и исследований процессов формирования композита, в том числе граничных, с использованием методов микромеханических исследований. Без выполнения химического анализа, разрушающих физико-механических методов, мы получили не только подтверждение различия в природе фаз композита, но и указали на наличие граничных процессов формирования композита, поэтому при изучении процессов формирования строительного композита применим комплексный методологический подход.

© Баранникова О.Е., Надеева И.В., 2010

*Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.*

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

УДК 69.051

С.Н. Шульженко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ВВОДА
ОБЪЕКТОВ**

Изложены основные аспекты программно-целевой и регламентной технологии при использовании матричного и планового подходов с привязкой к застройке микрорайонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: инженерная подготовка, технология, календарный план, строительство, микрорайон.

Main aspects the program-target and statutory technology are established using matrix and planned approach with reference to the building system of neighborhood units.

K e y w o r d s: engineering preparation, technology, time program, building, neighborhood units.

При инженерной подготовке территории необходимо выполнять несколько экономических, геологических, геодезических расчетов проектирования и прокладки инженерных коммуникаций. По каждому виду работ возможны варианты их эффективного решения, и, следовательно, возникает необходимость комплексного подхода к использованию прогрессивных технологических решений.

Отдельными авторами [1—3] разработаны и предлагаются два основных подхода к использованию технологических решений.

Программно-целевая технология — это выдача руководителем для исполнения заданий (целей, задач) с указанием средств, методов и времени их выполнения. Используется для типовых работ с применением стандартных средств и методов. Технология предусматривает внешний или внутренний контроль промежуточных состояний выполнения. Профессионализм выполнения задания определяется квалификацией руководителя, выдавшего задание, а квалификация исполнителя играет вторичную роль.

На схеме реализации программно-целевой технологии (рис. 1) приведены планируемые результаты в сроки T_1 , T_2 , T_3 и $T_{\text{вып}}$, а также возможные результаты выполнения.

Условия эффективного использования данной технологии:

решение разрабатывается для персонала численностью не более 1000...1500 чел.;

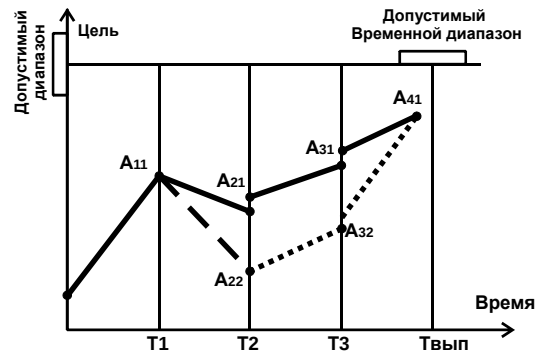


Рис. 1. Схема реализации программно-целевой технологии

основана на соблюдении требования (регламента) о безусловном неудаении от цели, т.е. возможно либо приближение к цели, либо неизменяемость результатов в течение небольшого времени. Это связано с тем, что руководитель твердо уверен в положительных результатах, хотя точно не знает конкретные пути достижения цели. Обычно такая ситуация складывается при подготовке или реализации проектов, касающихся большого числа людей, страны или миропорядка в целом.

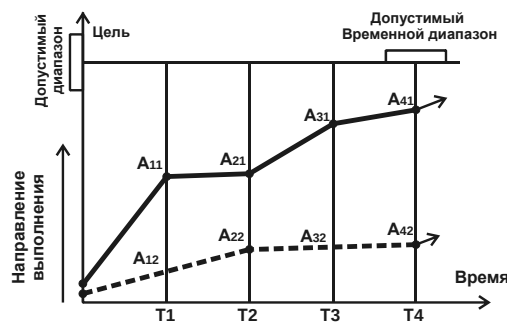


Рис. 2. Схема реализации регламентной технологии

ная продолжительность возведения объектов микрорайона остается практически неизменной, причем продолжительность возведения каждого объекта не должна превышать нормативную.

Для каждого конкретного микрорайона в реальных условиях его застройки часть объектов обладает приоритетом, т.е. допущение в равнозначности объектов соблюдается частично. Там, где вводу в эксплуатацию объекта A_j предшествует по указанным соображениям ввод объекта A_i , в клетке $[i, j]$ записывается время t_{ij} в месяцах, приоритет отдается объектам, которые обозначены по строке матрицы.

На практике при составлении матрицы большинство значений являются нулевыми, так как лишь для отдельных объектов приоритет необходимо устанавливать заранее. Некоторые значения t_{ij} могут быть неизвестны или изменяться со временем, тогда матричная форма также позволяет оперативно пересчитать на ЭВМ варьируемые параметры строительных потоков.

соответствие технологии производства работ нормам процессов на объекты;

рациональный подбор и расстановка рабочих в бригадах и звеньях.

Регламентная технология — это выдача руководителем для исполнения заданий (целей, задач) с указанием средств и их возможных ограничений, ориентировочных методов и времени их выполнения. Эта технология

Таким образом, рекомендовано с учетом вероятных вариантов ограничений в ресурсах (стоимостных или материальных) на основе целевых технологий выполнять разработку базовых календарных планов организации застройки и проводить их оптимизации.

В реальных условиях ограничения трудовых и материальных ресурсов суммарная

На рис. 3 приведена матрица приоритетов (после вычеркивания нулевых строк и столбцов), например для первого микрорайона города.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_n
A_1	0	$t_{1,2}$	$t_{1,3}$	$t_{1,4}$	$t_{1,5}$	$t_{1,6}$	$t_{1,7}$	$t_{1,8}$	$t_{1,9}$	$t_{1,n}$
A_2	$t_{1,2}$	0	$t_{2,3}$	$t_{2,4}$	$t_{2,5}$	$t_{2,6}$	$t_{2,7}$	$t_{2,8}$	$t_{2,9}$	$t_{2,n}$
A_3	$t_{1,3}$	$t_{2,3}$	0	$t_{3,4}$	$t_{3,5}$	$t_{3,6}$	$t_{3,7}$	$t_{3,8}$	$t_{3,9}$	$t_{3,n}$
A_4	$t_{1,4}$	$t_{2,4}$	$t_{3,4}$	0	$t_{4,5}$	$t_{4,6}$	$t_{4,7}$	$t_{4,8}$	$t_{4,9}$	$t_{4,n}$
A_5	$t_{1,5}$	$t_{2,5}$	$t_{3,5}$	$t_{4,5}$	0	$t_{5,6}$	$t_{5,7}$	$t_{5,8}$	$t_{5,9}$	$t_{5,n}$
A_6	$t_{1,6}$	$t_{2,6}$	$t_{3,6}$	$t_{4,6}$	$t_{5,6}$	0	$t_{6,7}$	$t_{6,8}$	$t_{6,9}$	$t_{6,n}$
A_7	$t_{1,7}$	$t_{2,7}$	$t_{3,7}$	$t_{4,7}$	$t_{5,7}$	$t_{6,7}$	0	$t_{7,8}$	$t_{7,9}$	$t_{7,n}$
A_8	$t_{1,8}$	$t_{2,8}$	$t_{3,8}$	$t_{4,8}$	$t_{5,8}$	$t_{6,8}$	$t_{7,8}$	0	$t_{8,9}$	$t_{8,n}$
A_9	$t_{1,9}$	$t_{2,9}$	$t_{3,9}$	$t_{4,9}$	$t_{5,9}$	$t_{6,9}$	$t_{7,9}$	$t_{8,9}$	0	$t_{9,n}$
A_n	$t_{1,n}$	$t_{2,n}$	$t_{3,n}$	$t_{4,n}$	$t_{5,n}$	$t_{6,n}$	$t_{7,n}$	$t_{8,n}$	$t_{9,n}$	0

a

	A_6	A_7	A_8	A_{10}	A_{11}
A_6	1	0	0	0	0
A_7	0	1	0	0	0
A_8	0	0	0	2	2
A_{10}	0	0	1	0	0

б

Рис. 3. Матрица приоритетов в сроках ввода в эксплуатацию объектов микрорайона: *a* — общий вид; *б* — пример

В силу наличия приоритетов одновременный ввод объектов микрорайона становится недостижимым. Часть значений ΔT_i известна уже до составления календарного плана из матрицы приоритетов.

Количественная оценка комплексности позволяет установить опорные варианты календарного плана, а также типовые решения, которые могут применяться при проектировании организации строительства (рис. 4). Во-первых, в условиях ограниченности ресурсов целесообразно начинать строительство микрорайона с объектов, характеризующихся большей продолжительностью, как показано на схеме. Во-вторых, предпочтительно вводить объекты, не имеющие приоритетов, ближе к окончанию строительства микрорайона, имея в виду, что опережение ввода отдельного объекта по отношению к массиву дает больший, чем отставание, коэффициент комплексности. При этом некоторое сокращение объемов вводимой в эксплуатацию площади в начале строительства микрорайона перекрывается вводом зданий в других микрорайонах, которые находятся в завершающей фазе застройки.

Может возникнуть вопрос о том, как соотносить комплексность застройки с необходимостью ритмичного ввода объектов. Для решения этого вопроса следует иметь в виду, что ритмичность ввода рассчитывается не для одного, а для совокупности микрорайонов, жилого района или для города в целом. При этом необходимо принять такую очередность строительства микрорайонов, чтобы в то время, как в одном микрорайоне объекты вводились в эксплуатацию, в другом уже шли монтажные работы, а в третьем — инженерная подготовка территории.

Итоговая оценка варианта календарного плана с учетом показателя комплексности зависит от производственно-хозяйственной деятельности строительно-монтажных организаций, выполняющих функции генерального подрядчика по строительству микрорайонов, и производится по завершении строительства микрорайона.

																Ti	Ti	K
																8	19	0,63
																3	8	
																0	3	
																16	19	0,41
																11	16	
																0	11	

a

					ΔTi	Ti	K
					3	7	0,48
					3	7	
					3	7	
					3	7	
					3	7	
					0	3	

б

					ΔTi	Ti	K
					0	4	0,85
					0	4	
					0	4	
					0	4	
					0	4	
					4	7	

в

Рис. 4. Опорные варианты календарного плана: *a* — распределение объектов с различной продолжительностью; *б* — ввод отдельных объектов по отношению к массиву

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М. : Радио и связь, 1982. 184 с.
2. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели. М. : Мир, 1991. 464 с.
3. Основы организации и управления жилищно-коммунальным комплексом / под общ. ред. проф. П.Г. Грабового. М. : Изд-во АСВ, 2004. 528 с.
1. Lytvak B.G. Expertnaya informatsiya. Metody polucheniya i analiza. M. : Radio i svyaz', 1982. 184 s.
2. Mullen E. Kooperativnoye prinyatiye resheniy: Aksiomy i modeli. M. : Mir, 1991. 464 s.
3. Osnovy organizatsii i ypravleniya zhilishno-communal'nym kompleksom / pod obsh. red. P.G. Grabovogo. M. : Izd-vo ASV, 2004. 528 s.

© Шульженко С.Н., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 614.832:622.691.4.074.4

И.А. Томарева**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ЧИСЛА ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНОГО РАЗРЫВА ГАЗОПРОВОДА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕРЕХОДА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ**

Дана оценка возможного числа пострадавших при строительстве перехода инженерных сетей в результате аварийного разрыва газопровода на основе методики оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: инженерные сети, охрана труда, производственный травматизм.

The estimation of the possible number of injured is given by the building of the transition of the engineering networks of the damage blowout of the gas pipeline on the basis of the estimation technique of consequences of damage blowout of fuel-air mixtures.

К е y w o r d s: engineering networks, labor protection, occupational traumatism.

При оценке возможного числа пострадавших среди производственного персонала в результате аварийного разрыва газопровода, когда на работающих воздействует избыточное давление ΔP_{ϕ} и тепловое излучение пожара, учитывают параметры поражающих факторов (величина ΔP_{ϕ} , величины теплового потока g и время экспозиции t_s), а также учитывают условия размещения людей в зоне поражения [1, 2].

Так как эффект поражения носит вероятностный характер, величину поражения выразим с помощью интеграла ошибок:

$$P_{\text{пор}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\text{Pr}^{-5}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (1)$$

где $P_{\text{пор}}$ — величина поражения; Pr — пробит-функция; t — время воздействия поражающих факторов.

Верхний предел интегральной функции является пробит-функцией, отражающей связь между вероятностью поражения и поглощенной дозой.

Пробит-функция вычисляется по уравнению вида

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln(D), \quad (2)$$

где a и b — константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия; D — поглощенная субъектом доза негативного воздействия.

Исходными данными при расчете числа пострадавших в результате возникновения аварийных ситуаций при производстве определенного вида работ на объекте является численность персонала:

- выполняющего данный вид работ;
- находящегося в непосредственной близости от объекта.

При определении числа пострадавших в результате воздействия на людей избыточного давления взрыва приняли за основу критерии опасного воздействия избыточного давления взрыва на людей, находящихся на открытой местности.

Для оценки числа пострадавших на открытой местности от избыточного давления взрыва принимались значения, приведенные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Степень поражения людей от воздушной ударной волны на открытой местности

Избыточное давление, кПа	Степень поражения
20	Разрывы барабанных перепонок. Небольшое кровоизлияние в легкие (условно — поражение 1-й ст.)
50	Общее сотрясение организма. Кровоизлияния в легкие, мышечное кровоизлияние (условно — поражение 2-й ст.)
70	Состояние контузии (условно — поражение 3-й ст.)
100...150	Переломы ребер, гиперемия сосудов мягкой мозговой оболочки
300	Летальный исход

Для определения вероятности летального исхода от прямого воздействия на людей избыточного давления P и импульса I использовали пробит-функцию

$$Pr = -2,2 \ln(7380/P + 1,3 \times 10^9/(P \times I)), \quad (3)$$

где P — избыточное давление, Н/м²; I — импульс, Н/м² · с.

Исходя из формулы (3) для расчета P и I по [3] получим, что для взрывов ТВС на границе зоны поражения 1-го класса (100 кПа) вероятность смертельного поражения открыто стоящего человека не превысит 0,001 (0,1 %), в зоне 2-го класса такая вероятность равна 0.

Средняя вероятность смертельного поражения открыто стоящего человека в зоне 1-го класса (полагая, что $P_{\max} \leq 150$ кПа) составляет 0,8...1,5 ≈ 1 %.

Пробит-функция для расчета вероятности ранения человека в зонах поражения (в качестве критерия брали разрыв барабанных перепонок):

$$Pr = -12,6 + 1,524 \ln(P). \quad (4)$$

Структура человеческих потерь на открытой местности, %, в среднем по отрасли приведена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Структура человеческих потерь на открытой местности, %

Структура потерь	Избыточное давление, кПа			
	14	28	70	100
Общие	0	1	30	91
Безвозвратные	0	0	0	1
Санитарные	0	1	30	90

Расчет безвозвратных потерь среди людей, находящихся на открытой местности, выполнен по формуле

$$N_6 = \sum_{i=1}^3 \frac{n_6 b_i \times P_6 b_i}{100}, \quad (5)$$

где N_6 — величина безвозвратных потерь людей, находящихся на открытой местности; $n_6 b_i$ — количество людей, находящихся в зданиях и сооружениях (при воздействии ΔP_{ϕ} , равного 28, 70 и 100 кПа); $P_6 b_i$ — количество людей, получивших серьезные повреждения, приведшие к летальному исходу, % (табл. 2).

Расчет санитарных потерь среди людей, находящихся на открытой местности, выполнен по формуле

$$N_c = \sum_{i=1}^3 \frac{n_{\text{сш}} \times P_{\text{сб}} b_i}{100}, \quad (6)$$

где N_c — величина санитарных потерь людей, находящихся на открытой местности; $n_{\text{сш}}$ — количество людей, находящихся на открытой местности (при воздействии $\Delta P_{\text{ф}}$, равного 28, 70 и 100 кПа); $P_{\text{сб}} b_i$ — процент людей, получивших повреждения, не приведшие к летальному исходу (табл. 2).

При определении степени поражения людей от воздействия на них теплового излучения при пожаре или горении паровоздушных смесей за основу приняты критерии, приведенные в табл. 3.

Вероятность смертельного поражения при термическом воздействии определяется через пробит-функцию и связана с «индексом дозы» (произведение интенсивности излучения на длительность прямоугольного теплового импульса) выражением

$$\text{Pr} = -14,5 + 2,56 \ln \left(q^{4/3} \tau \times 10^{-4} \right), \quad (7)$$

где q — действующий на человека тепловой поток, Вт/м²; τ — длительность воздействия, с.

Т а б л и ц а 3

Критерии поражения людей от воздействия теплового излучения

Характер воздействия на человека	Интенсивность излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение неограниченного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20...30 с. Ожог 1-й ст. через 15...20 с. Ожог 2-й ст. через 30...40 с	7,0
Непереносимая боль через 3...5 с. Ожог 1-й ст. через 6...8 с. Ожог 2-й ст. через 12...16 с	10,5
Летальный исход с вероятностью 50 % при длительном воздействии около 10 с	44,5

Аналогично, для ожога 1-й ст. имеем

$$\text{Pr} = -39,83 + 3,0186 \ln \left(q^{4/3} \tau \times 10^{-4} \right). \quad (8)$$

Предельно допустимые дозы теплового излучения при воздействии на человека приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Предельно допустимые дозы теплового излучения

Степень поражения	Доза теплового излучения, Дж/м ²
Ожог 1 ст.	$1,2 \times 10^5$
Ожог 2 ст.	$2,2 \times 10^5$
Ожог 3 ст.	$3,2 \times 10^5$

П р и м е ч а н и е. Дозу теплового излучения Q рассчитывают по формуле $Q = q \times \tau$, где q и τ определены выше.

Расчет времени нахождения человека в опасной зоне t_s выполнен по формуле [1]

$$T = t_0 + x / V, \quad (9)$$

где t_0 — характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решения о своих действиях ($t_0 = 5$ с); x — расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зоны, где плотность теплового

потока менее 4 кВт/м²); V — скорость движения человека (принята равной 5 м/с).

Структура человеческих потерь на открытой местности, %, по отрасли приведена в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Структура человеческих потерь на открытой местности, %

Структура потерь	Интенсивность излучения, кВт/м ²			
	4,2	7,0	10,5	44,5
Общие	10	50	100	100
Безвозвратные	0	0	1	99
Санитарные	10	50	99	1

Расчет безвозвратных потерь в результате воздействия на людей теплового излучения выполнен по формуле

$$N_{\text{бт}} = \sum_i^4 \frac{n_{\text{бт}i} \times P_{\text{бт}i}}{100}, \quad (10)$$

где $N_{\text{бт}}$ — величина безвозвратных потерь людей, находящихся в опасных зонах теплового излучения; $n_{\text{бт}i}$ — количество людей, находящихся в опасных зонах теплового излучения; $P_{\text{бт}i}$ — процент людей, получивших смертельное поражение.

Расчет санитарных потерь в результате воздействия на людей теплового излучения выполнен по формуле

$$N_{\text{ст}} = \sum_i^4 \frac{n_{\text{ст}i} \times P_{\text{ст}i}}{100}, \quad (11)$$

где $N_{\text{ст}}$ — величина санитарных потерь людей, находящихся в опасных зонах теплового излучения; $n_{\text{ст}i}$ — количество людей, находящихся в опасных зонах теплового излучения; $P_{\text{ст}i}$ — количество людей, получивших ожоги, не приведшие к летальному исходу, %.

Анализ результатов позволяет дать оценку возможному числу пострадавших среди производственного персонала в результате аварийного разрыва газопровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей // Сборник методик № 1. М. : НТЦ «Промышленная безопасность», 1999.
2. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (методика «ТОКСИ»). М. : НТЦ «Промышленная безопасность», 1999.
3. ГОСТ 12.3.047—98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М. : Изд-во стандартов, 1998.
1. Metodika otsenky posledstviy avariynykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesey // Sbornik metodik № 1. М. : NTTs “Promyshlennaya bezopasnost”, 1999.
2. Metodika otsenky posledstviy avariynykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesey (metodika “TOKSY”). М. : NTTs “ Promyshlennaya bezopasnost”, 1999.
3. GOST 12.3.047—98 SSBT. Pozharnaya bezopasnost’ tehnologicheskyykh protsessov. Obshchiye trebovaniya. Metody kontrolya. М. : Izd-vo standartov, 1998.

© Томарева И.А. , 2010

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

УДК 699.841 (05)

А.В. Масляев

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КОНТРОЛИРУЮЩИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ РЯДА ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Освещена актуальная проблема строительства сейсмостойких зданий и сооружений на территории Волгоградской области. Обосновывается необходимость возводить ответственные объекты на территории Волгоградской области сейсмостойкими. Предложено ввести в нормативный документ по проектированию сейсмостойких зданий технические регламенты для объективного определения категории ответственности сейсмостойких зданий и сооружений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: землетрясение, ответственность здания, сейсмостойкость.

The high quality of the erection of buildings in the territory of Russia depends on the responsible work of all control agencies. But for the moment employees of federal and regional control agencies are working with infringements of normative documents in building system of the Volgograd Region.

К e y w o r d s: earthquake; responsibility, buildings, repeated blow.

Тема статьи возникла неожиданно, когда был получен ответ сотрудников федеральных и региональных контрольных служб на письма редакции журнала «Жилищное строительство» в адрес министра регионального развития и министра по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий РФ. В этих письмах редакция журнала просила проверить факты нарушений нормативных документов при проектировании конкретных ответственных объектов на территории Волгоградской области, о которых автором было сказано в статьях [1, 2]. В адрес главы администрации Волгоградской области также было написано письмо (вх. № 01-01-02м администрации от 13.05.2010 г.) директором ЦНИИСК им. Кучеренко, в котором говорится: «На территории Волгоградской области в настоящее время многие здания возведены с нарушениями норм проектирования СНиП II-7—81*». Ответ до сегодняшнего дня так и не получен. Более того, насколько известно автору, это письмо списано в архив.

Основные рассуждения автора заключались в том, что многие ответственные объекты на территории Волгоградской области возведены несейсмостойкими. Районная сейсмичность многих населенных пунктов Волгоградской области с 1 января 2000 г. нормативным документом СНиП II-7—81* для объектов с повышенной и особой ответственностью определена в 6 и 7 баллов соответственно. Из-за того что большая часть сильных землетрясений за последние десятилетия на Земном шаре стала происходить с повторными сильными толчками в первые минуты после основного толчка, когда люди еще не успевают выйти на открытое безопасное пространство, автором в [3] для сейсмоопасных районов предложены технические критерии для определения категории ответственности зданий и сооружений.

Важнейшим критерием для определения степени ответственности сейсмостойкого здания является показатель времени эвакуации людей из здания при землетрясении на безопасное пространство. Этот критерий образуется из

содержания основной расчетной концепции нормативного документа СНИП II-7—81*. Согласно этой концепции при воздействии первого основного толчка расчетной интенсивности здания и сооружения могут получить предельно допустимую 3-ю степень повреждения ($d \leq 3$) по шкале MSK-64. По исследованиям автора [4] при воздействии первого повторного сильного толчка здания могут получить еще дополнительную усредненную степень повреждения, равную 1 ($d \leq 1$). Но при их суммировании в зданиях может образоваться 4-я степень повреждения ($d \leq 4$) по шкале MSK-64, при которой уже могут возникнуть отдельные обрушения конструкций зданий с гибелью людей.

Так как из здания Волгоградского областного перинатального центра в случае землетрясения эвакуировать новорожденных проблемных детей невозможно, из-за вероятности сильных повторных толчков это сооружение следует относить к объекту с особой ответственностью. Предложенные автором технические критерии для того, чтобы считать Волгоградский областной перинатальный центр объектом с особой ответственностью, были поддержаны директором ЦНИИСК им. Кучеренко.

Другим строительным объектом, о котором говорится в письмах, является мостовой переход через р. Волгу в Волгограде. Общая его длина по проекту примерно 7 км. Его многопролетные строения выполнены в виде неразрезной металлической балки. Длина моста через Волгу примерно 1100 м. На мосту через Волгу предусмотрена широкая пешеходная дорожка. На правом берегу Волги располагаются три больших пролета по 155 м. Колебания именно этих пролетов с амплитудой до 0,8 м в мае 2010 г. показывали почти все телевизионные каналы РФ. По мнению автора, такие колебания пролетных строений моста были вызваны и недопустимо заниженной их жесткостью. Строительную площадку моста через р. Волгу пересекают несколько тектонических разломов сбросового типа как вдоль, так и поперек реки. На значительно недостроенный мостовой переход израсходовано уже более 11 млрд р. Это единственный мостовой переход такого типа в нижнем Поволжье, и поэтому даже для всей страны он имеет важное стратегическое значение. Действительно, проектировщики с учетом принятой классификации мостов для обычных условий строительства присвоили ему высший уровень ответственности «внеклассный мост». Но так как территория Волгоградской области для ответственных сооружений является сейсмоопасной, проектировщики должны были по требованиям нормативного документа СНИП II-7—81* присвоить ему соответствующий уровень ответственности. Такое правило определения ответственности всех сооружений для разных условий строительства отражено в положении п. 26 ст. 2 ФЗ РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: «уровень ответственности — характеристика здания или сооружения, определяемая в соответствии с объемом экономических, социальных и экологических последствий его разрушения». По инженерной логике проектировщиков, которой они руководствовались при присвоении этому сооружению высшего уровня ответственности для обычных условий строительства, мостовой переход и по специальной классификации СНИП II-7—81* также должен относиться к высшему уровню, т.е. он должен быть объектом особой ответственности. Однако на наш запрос мы получили ответ московской проектной организации «Гипротранс-

мост» (пмк-19-08 1090 IV от 18.08.2010. Далее — Письмо) за подписью главного инженера проекта мостового перехода, в котором говорится, что это сооружение было определено как объект с повышенной ответственностью, т.е. на один уровень ниже. Но этому решению противоречит постановление главы администрации Волгоградской области за № 84 от 04.02.2003 г., согласно которому такой мост должен относиться к объекту с особой ответственностью. Дальше в этом Письме следует самое «непонятное» для автора пояснение, в котором делается попытка объяснить причину, по которой это сооружение проектировалось несейсмостойким: «...с учетом назначения объекта для сейсмического районирования следует использовать карту «В»; по карте «В» расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий для г. Волгограда составляет 6 баллов; сооружения, запроектированные по действующим СНиПам, способны воспринимать сейсмичность 6 баллов без специальных мероприятий». Действительно, для зданий и сооружений с повышенной ответственностью расчетная сейсмичность строительной площадки для средних грунтовых условий территории Волгограда определяется по карте «В» и составляет 6 баллов. Но, как видим, дальнейший порядок изложенных в Письме выводов грубо нарушает необходимую нормативную (обязательную) последовательность работы проектировщика при определении расчетной сейсмичности строительной площадки для ответственного сооружения. Так, например, в п. 6.22 нормативного документа [5] говорится: «В сейсмических районах (сейсмичностью 6 баллов и более) следует дополнительно устанавливать для разработки проекта и приводить в техническом отчете: результаты сейсмического микрорайонирования...». То есть, в Письме после информации о том, что сейсмичность для объекта с повышенной ответственностью определяется по карте «В» для территории Волгограда и составляет 6 баллов, должны быть изложены результаты сложной работы по сейсмическому микрорайонированию всей территории строительной площадки мостового перехода. Получается, что в Письме отсутствует самое важное — обоснование величины расчетной сейсмичности строительной площадки мостового перехода по результатам сейсмического микрорайонирования. Известно, что районная сейсмичность по всем картам А, В, С нормативного документа СНиП II-7—81* не учитывает влияний тектонических разломов, которые, как правило, могут только увеличивать их значения. Поэтому отсутствие в Письме учета тектонических разломов при определении сейсмичности строительной площадки служит еще и косвенным доказательством того, что работа по сейсмическому микрорайонированию на территории объекта не проводилась. Однако наличие на территории мостового перехода нескольких тектонических разломов свидетельствует о том, что расчетная сейсмичность строительной площадки с учетом тектонических разломов будет как минимум 7 баллов, т.е. данное сооружение даже при уровне повышенной ответственности все же должно быть сейсмостойким. Правда, в окончании Письма написано, что «по заданию Гипротрансмоста научно-технический центр (НТЦ) «Мосты» научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) провел фондовое и научно-исследовательское <...> сделаны следующие выводы: в непосредственной близости от мостового перехода могут происходить толчки с максимальной магнитудой 4-4,1».

У автора имеется копия этого научного отчета (индекс темы: ИС-96-3-529-12, М., 1996): «1. Проведенные исследования по оценке сейсмической опасности района строительства мостового перехода через Волгу в Волгограде позволили установить, что наибольшие магнитуды возможных землетрясений лежат в диапазоне от 4.1 до 6.4. При этом в непосредственной близости от моста могут происходить толчки с $M_{\text{MAX}} = 4.1$. Очаги с магнитудой $M_{\text{MAX}} = 6.1$ располагаются не ближе 15 км от моста». Как видим, в записке умалчивается о вероятности очага землетрясения с магнитудой 6.1 на расстоянии 15 км от строительной площадки моста. По нашим расчетам по формуле Н.В. Шебалина [6] с исходными данными указанного эпицентрального расстояния (15 км) и глубины очага (20 км), интенсивность землетрясения при магнитуде 6.1 на строительной площадке моста составит примерно 7 баллов. Как говорилось выше, с учетом влияния тектонических разломов расчетная сейсмичность строительной площадки составит 8 баллов. При этом, что очень важно, в выводах указанного в записке научного отчета ничего не говорится о расчетной интенсивности строительной площадки мостового перехода. Конечно, читателям интересно узнать отношение специалистов высших контрольных органов РФ к возведению ответственных объектов не сейсмостойкими на территории Волгограда. Редакция журнала «Жилищное строительство» получила ответ от заместителя руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за № 00-03-12/1497, в котором говорится: «Указанный в обращении объект капитального строительства (областной перинатальный центр в г. Волгограде) не имеет критериев особо опасного, технически сложного и уникального объекта». Во-первых, в письмах не говорилось, что этот объект особо опасен, технически сложен или уникален. В письме просили прислать их отношение к обоснованиям проектировщиков по ряду объектов, которые возведены не сейсмостойкими на территории Волгоградской области. Как говорилось выше, в каждом проекте здания или сооружения должны быть эти обоснования по требованиям нормативного документа СНиП II-7—81*. Несмотря на нормативные требования, в данном ответе нет ни одного слова о сейсмичности строительной площадки или о сейсмостойкости конструкций сооружения мостового перехода. Другими словами, научного обоснования уровня ответственности объекта Волгоградского перинатального медицинского центра в ответном письме нет. В отношении объекта «Мостовой переход через р. Волга в г. Волгограде» в ответе приведены только названия пяти положительных заключений Главгосэкспертизы России, в которых также отсутствуют научные обоснования относительно его ответственности.

В адрес редакции журнала «Жилищное строительство» пришло письмо от начальника Главного управления министерства по делам ГОЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий по Волгоградской области от 24.06.2010 г. № 31 с приложением (далее — Обоснование) за подписью начальника ГАУ ВО «Облгосэкспертизы» некоторого обоснования только по объекту мостового перехода через Волгу. В Обосновании сотрудники «Облгосэкспертизы» пишут: «На Ваше обращение сообщаем. Обязательная оценка сейсмичности конкретной площадки касается объектов капитального строительства нормального (II-го по ГОСТ 27751—88) и повышенного (I) уровней ответственности, проектируемых в сейсмических районах Волгоградской

области сейсмичностью 6 баллов, и определяется в соответствии со СНиП II-7—81*». В этом предложении, по нашему мнению, сделана грубейшая ошибка — ссылка на ГОСТ при определении ответственности объектов для сейсмоопасных районов. Для определения уровня ответственности зданий и сооружений для сейсмоопасных районов следует использовать только требования п. 1.3* нормативного документа СНиП II-7—81*, который определяет только три категории ответственности сейсмостойких зданий и сооружений: 1-я категория — массового строительства; 2-я категория — повышенной ответственности; 3-я категория — особой ответственности. Вышеуказанный ГОСТ определяет 4 класса ответственности зданий и сооружений для выбора коэффициента надежности в расчетах их конструкций. Как видим, специалисты «Облгосэкспертизы» по Волгоградской области в решении конкретных инженерных задач неквалифицированно используют нормативные документы.

Следующую запись специалисту трудно понять: «Для уточнения сейсмической опасности при проектировании мостового перехода ч/з Волга в г. Волгограде — объекта особой ответственности, соответствующего карте «С», — расчетная сейсмичность участка проектируемого строительства оценивалась по данным сейсмотектонических исследований в радиусе до 100 км от данного объекта, выполненных в 1996—1997 гг. Институтом ЦНИИС (г. Москва), и была получена равной 6 баллам по шкале MSK-64». Видите, какая спутанность мыслей. В начале предложения они правильно признают, что сооружение мостового перехода относится к объекту особой ответственности и поэтому районную сейсмичность его строительной площадки следует брать по нормативной карте «С», а далее специалисты «Облгосэкспертизы» пытаются идти не по пути требований нормативного документа СНиП II-7—81*. Ведь нормативный документ устанавливает строго определенную последовательность действий для проектировщика: 1) определяется согласно требованиям п. 26 ст. 2 Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» уровень ответственности зданий и сооружений; 2) по категории ответственности согласно п. 1.3* нормативного документа СНиП II-7—81* выбирается карта сейсмичности района строительства; 3) для определения расчетной сейсмичности конкретной строительной площадки для ответственных зданий и сооружений следует согласно требованиям п. 1.4* вышеуказанного нормативного документа выполнить работы по сейсмическому микрорайонированию. Ссылка на результаты научного отчета, о конкретных выводах которого говорилось выше в статье, здесь неуместна даже потому, что он выдает более заниженные значения по сравнению с нормативной работой по сейсмическому микрорайонированию. В инженерной сейсмологии не может быть, чтобы при исходной нормативной сейсмичности в 7 баллов (по карте С) при наличии тектонических разломов на строительной площадке величина расчетной сейсмичности стала бы меньше нормативной на один балл, т.е. 6-балльной, как это говорится в Обосновании специалистов «Облгосэкспертизы». Приведу еще одно их предложение: «Одновременно сообщаем, что за время существования Царицина-Волгограда (421 год) не было отмечено ни одного заметного землетрясения (интенсивностью выше 3.5 балла)...». На территории Волгоградской области в 90-х гг. XX в., в основном на левом берегу Волги, произошло более десятка

тектонических подвижек до 3-4 баллов. Все эти тектонические подвижки на территории Волгоградской области анализировали только сотрудники нашей сейсмолаборатории.

Для этих целей по нашей просьбе в местных газетах для жителей опубликовали специальную анкету с вопросами. Получив анкеты с ответами жителей разных населенных пунктов, мы определяли интенсивность тектонических толчков (анкеты с ответами жителей сохранились). По нашим исследованиям, 24 декабря 1991 г. на территории Камышинского района примерно в 12 часов по московскому времени произошло землетрясение с магнитудой 4,2 при глубине очага 15 км. Проанализировав степени повреждений многих зданий и поведение людей, мы пришли к выводу, что интенсивность землетрясения на поверхности земли была 5 баллов. Об этом землетрясении можно узнать у сотрудников центральной сейсмостанции России в г. Обнинске (Москва).

В разговоре автора статьи с заслуженным архитектором России Ф.М. Лысовым относительно вероятности землетрясений на территории Волгоградской области он рассказал, что в мае 1924 г. на территории его станицы (на этом месте сегодня Цимлянское водохранилище) произошло землетрясение, которое разрушило много овечьих кошар. Согласно данным шкалы MSK-64 это соответствует примерно 6 баллам. Отсюда возникает вопрос к сотрудникам «Облгосэкспертизы», где они брали данные о землетрясениях за такое время, если пропустили информацию о вышеуказанном 5-балльном землетрясении на территории Камышинского района. Следует отметить, что при активном участии сотрудников «Облгосэкспертизы» Волгоградской области на заседании коллегии при Территориальном строительном комитете администрации Волгоградской области от 31 октября 2008 г. было принято следующее решение: «Подтвердить целесообразность проведения в определенных случаях работы по сейсмическому микрорайонированию участков территории области». Они приняли решение как раз в противоположность требованию п. 1.4* нормативного документа СНиП II-7—81*, в котором говорится, что определять сейсмичность строительных площадок следует только «на основании сейсмического микрорайонирования». Об областном перинатальном медицинском центре в этом документе ни слова.

Выводы. 1. На территории Волгоградской области без учета сейсмических воздействий нормативным документом СНиП II-7—81* разрешено возводить только здания и сооружения массового строительства, к которым, например, относятся одноэтажные частные дома и т.п. Получается, что несейсмостойкие сооружения областного перинатального центра и мостового перехода в Волгограде при поддержке федеральных и региональных контрольных органов РФ также относятся к объектам массового строительства.

2. Для периодического контроля за работой специалистов в регионах России при определении сейсмичности строительных площадок необходимо наделить сейсмологов Института физики земли им. О.Ю. Шмидта как основного разработчика нормативных документов в области сейсмологии контрольными функциями на срок 10 лет.

3. Для объективного определения категории ответственности зданий и сооружений для сейсмоопасных районов в обязательном порядке в нормативном документе следует предусмотреть единые технические критерии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Масляев А.В.* Ответственность исполнительной власти в нормах проектирования сейсмостойких зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2009. № 4. С. 35—37.
 2. *Масляев А.В.* Время между первыми толчками землетрясения на Гаити определялось заранее // Жилищное стр-во. 2010. № 2. С. 26—27.
 3. *Масляев А.В.* Основные критерии сейсмозащиты зданий и сооружений при землетрясении // Жилищное строительство. 2008. № 12. С. 24—26.
 4. *Масляев А.В.* Сейсмостойкость зданий с учетом повторных сильных толчков при землетрясении // Жилищное стр-во. 2007. № 10. С. 20—21.
 5. СНиП 11-02—96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения / Госстрой России. М., 2000.
 6. Сейсмическое районирование территории СССР / отв. ред. В.И. Бунз. М., 1980.
-
1. *Maslyayev A.V.* Otvetstvennost' ispolnitel'noy vlasti v normakh projektirovaniya seismostoykikh zdaniy i sooruzheniy // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2009. № 4. S. 35—37.
 2. *Maslyayev A.V.* Vremya mezhdru pervymi tolchkami zemletryaseniya na Gaiti opredelyalos' zaraneye // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2010. № 2. S. 26—27.
 3. *Maslyayev A.V.* Osnovniye kriterii seismozashchity zdaniy i soruzheniy pri zemletryasении // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2008. № 12. S. 24—26.
 4. *Maslyayev A.V.* Seismostoykost' zdaniy s uchotom povtornykh silnykh tolchkov pri zemletryasении // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2007. № 10. S. 20—21.
 5. SNiP 11-02—96. Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnyye polozheniya / Gosstroy Russii. M., 2000.
 6. Seismicheskoye rayonirovaniye teritorii SSSR / отв. ред. V.I. Bune. M., 1980.

© *Масляев А.В.*, 2010

*Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.*

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

УДК 62-70

В.М. Рогожкин, Н.А. Ушаков

МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГИДРОСИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ И ДРУГИХ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ МАШИН

Предложена новая конструкция защитного устройства, обеспечивающая двойное перекрытие поврежденного участка гидрوليнии, а следовательно, более надежную защиту гидросистемы строительных, дорожных и других гидрофицированных машин при разрушении рукавов высокого давления. Разработана методика расчета параметров гидромеханического клапана защитного устройства, учитывающая турбулентность потока жидкости в гидросистеме, что позволяет уточнить параметры пружин клапана защитного устройства.

К л ю ч е в ы е с л о в а: рабочая жидкость, защитное устройство, аварийный выброс, гидромеханический клапан, рукава высокого давления, турбулентный поток, расчет параметров, жесткость пружин, гидросистемы машин.

The new construction of the safe guard was offered what provides double roof of the damaged area of the fluid conductor and more good security of the hydraulics of construction, road and others hydroficated machines at failure of high-pressure hoses. The calculation procedure of parameters hydro mechanical valve of safe guard was developed. This calculation procedure considers the turbulence fluid flow in the hydraulics, which allows refining parameters of the safe guard valve spring.

К e y w o r d s: working liquid, safe guard, emergency emission, hydro mechanical valve, high-pressure hose, turbulence fluid, parameters calculation, spring force, hydroficated machines.

Одной из наиболее часто встречающихся неисправностей гидравлической системы строительных, дорожных и других гидрофицированных машин является порыв рукавов высокого давления и нарушение герметичности соединений ее элементов. Как показывают исследования [1], на долю рукавов высокого давления приходится около 45 % от общего количества неисправностей гидросистемы машин (рис. 1).

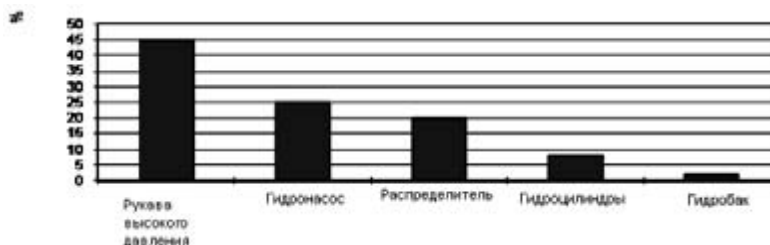


Рис. 1. Распределение неисправностей по агрегатам гидросистемы

Порыв рукавов высокого давления приводит к потере рабочей жидкости, простоям машинно-тракторных агрегатов и загрязнению окружающей среды. По данным [2] при каждом порыве шланга высокого давления на тракторе выбрасывается и теряется до 20 л гидрожидкости.

Предложены различные устройства для защиты гидросистемы от выброса рабочей жидкости при разгерметизации, большинство из которых основано на гидромеханическом способе защиты [3, 4 и др.] Основным элементом в таких устройствах является гидромеханический клапан. Четкость и надежность работы таких устройств зависит от принятых параметров клапана (диаметра клапана, жесткости, диаметра и числа витков пружин, диаметра проволоки и др.), поэтому при расчете клапана важно учесть все факторы, влияющие на его работу.

Известные методики расчета параметров гидромеханического клапана предполагают, что работа клапана происходит в условиях ламинарного потока жидкости, хотя фактически в защитном устройстве, особенно в его корпусе, наблюдается турбулентный поток. И такой характер потока отмечается, в первую очередь, в полости защитного устройства (рис. 2), т.е. в зоне расположения клапана. Следовательно, методика расчета клапана должна учитывать турбулентность движения жидкости при работе гидросистемы, снабженной защитным устройством.

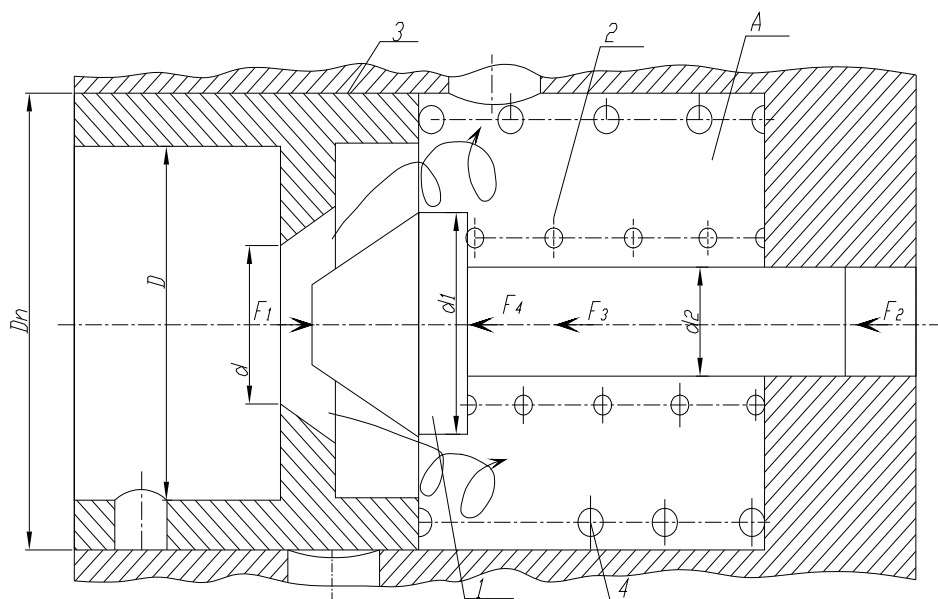


Рис. 2. Гидромеханический клапан защитного устройства гидросистемы: 1 — клапан; 2 — пружина клапана; 3 — плунжер; 4 — пружина плунжера

Известно, что в турбулентном потоке происходит интенсивное перемещение частиц жидкости, движение их принимает беспорядочный, хаотичный характер, возрастает скорость движения жидкости. В нашем случае при турбулентном потоке возрастает скорость движения рабочей жидкости относительно поверхности клапана 1 в полости А защитного устройства, что приводит к уменьшению давления жидкости на клапан.

Условие равновесного состояния клапана как для ламинарного, так и для турбулентного потока будет одинаковым:

$$F_1 = F_2 + F_3 + F, \quad (1)$$

где F_1 , F_2 и F_3 — силы, возникающие в результате давления жидкости на клапан соответственно слева, на шток и справа; F_4 — усилие предварительного сжатия пружины 2 клапана 1, однако силы F_2 и F_3 , возникающие от давления жидкости на клапан в зоне турбулентного потока, будут отличаться по величине от аналогичных сил, действующих при ламинарном потоке. Эти силы для турбулентного потока следует определять по зависимостям:

$$F_2 = P_{\max} \frac{\pi d_2^2}{4} \kappa; \quad (2)$$

$$F_3 = P_{\max} \frac{\pi (d_1^2 - d_2^2)}{4} \kappa, \quad (3)$$

где $P_{\max}$ — максимальное давление жидкости в гидросистеме; d_1 , d_2 — максимальный диаметр конуса клапана и диаметр штока соответственно; κ — коэффициент, учитывающий влияние турбулентности потока на величину давления жидкости.

В турбулентном потоке давление жидкости на клапан будет меньше, чем в ламинарном. Поэтому силы F_2 и F_3 , подсчитанные по формулам (2) и (3), будут по величине меньше, чем соответствующие силы, которые в настоящее время принимаются в расчетах, не учитывающих турбулентность потока.

Чтобы сохранить условие равновесного состояния (1) клапана защитного устройства для турбулентного потока, суммарная жесткость пружин 2 и 4 должна быть больше, чем жесткость, рассчитанная для ламинарного потока. Следовательно, коэффициент $\kappa < 1$. По имеющимся литературным данным [2] в первом приближении можно принять $\kappa = 0,9$.

Проведенные нами расчеты показали, что с учетом турбулентности потока жидкости в защитном устройстве суммарная жесткость пружины 2 клапана 1 и пружины 4 плунжера 3 должна быть 63,1 Н/мм. Если турбулентность не учитывать и расчеты вести по известным методикам, то суммарная жесткость пружин составит 56,8 Н/мм. Основные параметры пружин защитного устройства, полученные по известным методикам (для ламинарного потока) и по предложенной методике (с учетом турбулентности потока), приведены в таблице.

Основные параметры пружин защитного устройства при ламинарном и турбулентном потоке жидкости в корпусе устройства

Параметры пружины	Ламинарный поток		Турбулентный поток	
	плунжера	клапана	плунжера	клапана
Наружный диаметр пружины, мм	20	12	21	12
Число витков пружин	6	8	8	9
Диаметр проволоки пружины, мм	0,6	0,4	0,7	0,5
Жесткость пружин, Н/мм	38	18,8	40	23,1

Как видно из таблицы, если при расчете параметров защитного устройства не учитывать турбулентность потока жидкости в корпусе защитного устройства и рассматривать поток как ламинарный, то получаются заниженные данные по суммарной жесткости пружин. А снижение жесткости пружин приводит к увеличению времени его срабатывания. Следовательно, игнорирование фактора турбулентности при расчете параметров защитных устройств гидросистем, к чему прибегают авторы ранее предложенных методик, приводит к разработке устройств, обладающих недостаточным быстродействием, и, как следствие, к увеличению выброса рабочей жидкости при аварийных ситуациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клебанов А.Б. Исследование долговечности рукавов высокого давления гидросистем тракторов и сельскохозяйственных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1977.
2. Альтиуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. М. : Стройиздат, 1987. 345 с.
3. А.с. № 1086271 СССР. Устройство для перекрытия трубопровода / В.Н. Матвеев, Н.К. Тюрин, В.И. Гайдуков (СССР); опубл. в Б.И. № 14, 1984.
4. А.с. № 1129431 СССР. Гидропривод / М.М. Савченко, Ю.Е. Азаренков, Г.Ф. Манухин (СССР); опубл. в Б.И. № 46, 1984.
1. Klebanov A.B. Issledovaniye dolgovechnosti rukavov vysokogo davleniya gidrosistem traktorov i selskokhozyaystvennykh mashin : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 1977.
2. Altshul A.D., Givotovskiy L.S., Ivanov L.P. Gidravlika i aerodinamika. M. : Stroyizdat, 1987. 354 s.
3. A.s. № 1086271 SSSR. Ustroistvo dlya perekrytiya truboprovoda / V.N. Matveev, N.K. Tyurin, V.I. Gaidukov (SSSR); opubl. v B.I. № 14, 1984.
4. A.s. № 1129431 SSSR. Gidroprivod / M.M. Savchenko, Yu.E. Asarenkov, G.F. Manuchin (SSSR); opubl. v B.I. № 46, 1984.

© Рогожкин В.М., Ушаков Н.А., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 621. 822

О.В. Бурлаченко, Е.А. Бурлаченко

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Предложен комплексный метод повышения эксплуатационных показателей уплотнительных узлов грузоподъемных машин и оборудования. Метод основан на применении избирательной лазерной закалки поверхностей контакта и ступенчатом нагружении стыка в процессе сборки. Эффективность метода подтверждается результатами экспериментального исследования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: уплотнительный узел, грузоподъемные машины, лазерная закалка.

The multimeter method for the improving performance criteria of gland boxes for hoisting apparatus and outfitting is offered. The method is based on the use of the selective laser hardening of connecting faces and incremental loading of the joint during assembly. The effectiveness of the method is confirmed by experimental results.

К e y w o r d s: gland box, hermetic unit, hoisting apparatus, loading machines, laser hardening.

Работоспособность многих узлов двигателей, гидравлических управляющих систем, тормозных пневмоприводов, гидроприводов манипуляторов, уплотнений трубопроводной арматуры определяется их герметичностью.

В клапанах гидроагрегатов подъемных машин и оборудования большой грузоподъемности возникают рабочие давления до 250 МПа. Наиболее приемлемыми материалами уплотнительных элементов при работе в таких условиях являются хромистые и хромоникелевые стали 20Х13, 14Х17Н2 с плоским и коническим контактом.

Широту применения клапанных уплотнений с контактом металл — металл можно проследить на примере системы дистанционного управления работой гидродвигателей подъемно-транспортных машин, в частности гидроцилиндров одностороннего действия (рис. 1).

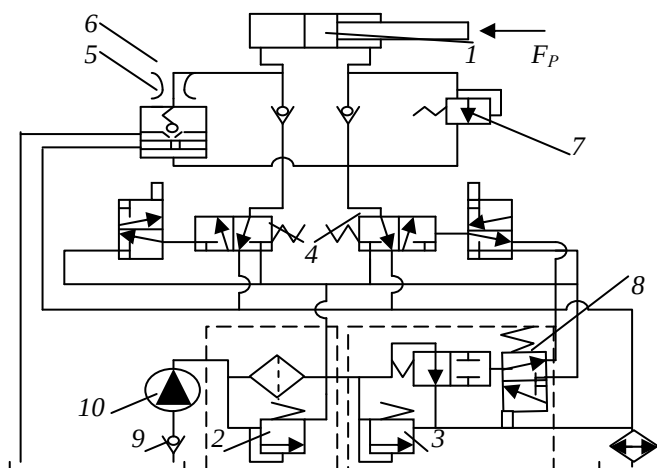


Рис. 1. Схема гидропривода подъемного механизма с клапанной системой распределения

Для обеспечения неподвижности поршня 1 под действием веса поднимаемых элементов F_p применяется высокогерметичная клапанная система распределения: клапаны прямого действия низкого или среднего давления 2, клапаны высокого давления 3, применяемые в качестве предохранительно-переливных, клапанные распределители 4, 8, гидрозамки (управляемые обратные клапаны) 5, дроссели 6, ограничивающие расход из левой полости гидроцилиндра под действием силы F_p , подпорные клапаны 7, ограничивающие скорость движения поршня, обратные клапаны 9, сохраняющие заполнение подводящей линии при расположении насоса 10 над уровнем жидкости.

Деформации в уплотняемом стыке при приложении к нему тангенциальной силы вызывают дополнительное сближение контактирующих поверхностей, увеличение фактической площади контакта, значительное изменение геометрических параметров профиля шероховатых поверхностей. В ряде работ установлена связь между утечкой в уплотняемом стыке и величиной предварительного смещения, согласно которой повышению герметичности стыка способствует приложение тангенциальной силы. При этом следует добиваться повышения силы трения покоя между контактирующими деталями, поскольку большее значение предельной величины предварительного смещения дает возможность повышения герметичности стыка вследствие приложения дополнительной сдвигающей нагрузки.

На кафедре технологии строительного производства ВолгГАСУ разработана технология избирательной лазерной закалки [1]. Данная технология может быть применена для повышения герметичности уплотнительных узлов машин. Исследование физической сущности процессов в парах трения при обработке поверхностей контакта концентрированными потоками энергии, модифицирующими структуру поверхностного слоя и его рельеф, позволяет установить функциональную связь жесткостных характеристик неподвижных соединений с параметрами технологии обработки поверхностей контакта. Особенностью лазерной закалки по сравнению с традиционными методами термической обработки являются более высокие скорости нагрева и охлаждения обрабатываемого материала. Образующийся в зонах лазерного влияния мартенсит более дисперсен, чем при обычной закалке. Микротвердость закаленных таким образом сталей более чем на 2000 МПа превышает микротвердость сталей, подвергнутых обычным видам закалки. В зонах лазерной термообработки при охлаждении происходит расширение материала, поскольку мартенсит имеет больший удельный объем по сравнению с исходной структурой. Появление в результате избирательной лазерной закалки на поверхности контакта участков повышенной твердости приводит к перераспределению напряжений и внедрению более твердого материала в зонах лазерного влияния в материал контртела при приложении к стыку нормальной нагрузки. В результате линия контакта приобретает волнообразный характер, а образующиеся волны препятствуют сдвигу поверхностей при приложении тангенциальной нагрузки. Максимальное значение сдвигающего усилия, прикладываемого для повышения герметичности, ограничено величиной, при достижении которой происходит раскрытие стыка. Следовательно, большей герметичности сопряжения можно добиваться, прикладывая к одной из контактирующих деталей сдвигающее усилие, не превышающее силы трения покоя T , причем $T \rightarrow \max$. Иными словами, технологическое обеспечение герме-

тичности уплотнительных узлов машин представляет собой управляющее воздействие на стык, поверхности контактирующих деталей которого подвергнуты избирательной лазерной закалке.

Конструкторскую часть обеспечения работоспособности уплотнительных узлов средств комплексной механизации и автоматизации строительного производства составляет метод ступенчатого нагружения деталей в процессе сборки. Ранее на кафедре технологии строительного производства был разработан способ сборки неподвижных разъемных соединений (А.с. 1751274 СССР, МКИ² F5/28), позволяющий повысить контактную жесткость и герметичность стыка. Сущность способа заключается в приложении по мере затяжки сдвигающей силы P , равной силе трения покоя от силы затяжки. Совместное применение способа сборки и избирательной лазерной закали контактирующих поверхностей позволяет добиться повышения силы трения покоя, деформации поверхностных микронеровностей в стыке и, как следствие, увеличения его герметичности. При этом стыкующиеся детали устанавливаются так, чтобы дорожки лазерной закали контактирующих поверхностей располагались перпендикулярно прикладываемым в процессе нагружения сдвигающим нагрузкам.

Программа нагружения уплотнительного узла приведена на рис. 2.

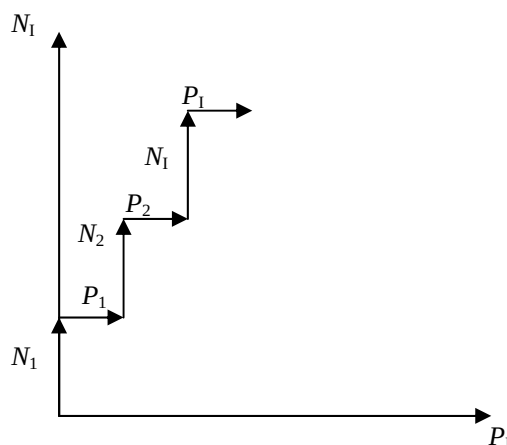


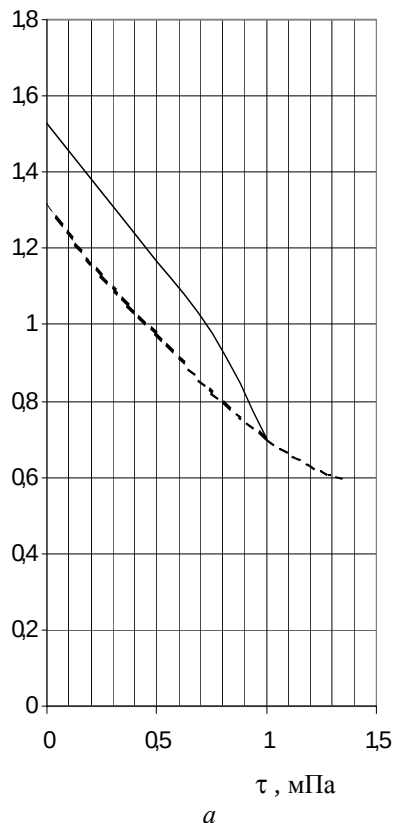
Рис. 2. Программа ступенчатого нагружения неподвижного соединения нормальной и тангенциальной нагрузками

Каждую последующую ступень следует осуществлять по истечении некоторого периода времени, определяемого релаксацией напряжений в крепежных болтах. Сила затяжки N_1 на первой ступени нагружения принимается в зависимости от максимальной допустимой нагрузки $N_{\text{доп}}$ для стыковочного узла и может быть равна $(0,5...0,8)N_{\text{доп}}$. В свою очередь, $N_{\text{доп}}$ определяется началом пластического смятия неровностей. Затем осуществляют вторую ступень нагружения. При этом $N_2 = (0,2...0,5)N_{\text{доп}}$. При реализации метода формируется площадь контакта, близкая к предельной для данного стыка.

С целью проверки эффективности предложенного метода на специально разработанной установке для измерения герметичности и контактных деформаций стыков [2] исследовалась зависимость герметичности от прикладываемых тангенциальных нагрузок для стыков, подвергнутых избирательной

лазерной закатке поверхностей контакта и без данного вида обработки. Результаты экспериментального исследования представлены на рис. 3.

$Q, \text{мм}^3/\text{с} \cdot \text{мм} \times 10^{-3}$



$Q, \text{мм}^3/\text{с} \cdot \text{мм} \times 10^{-3}$

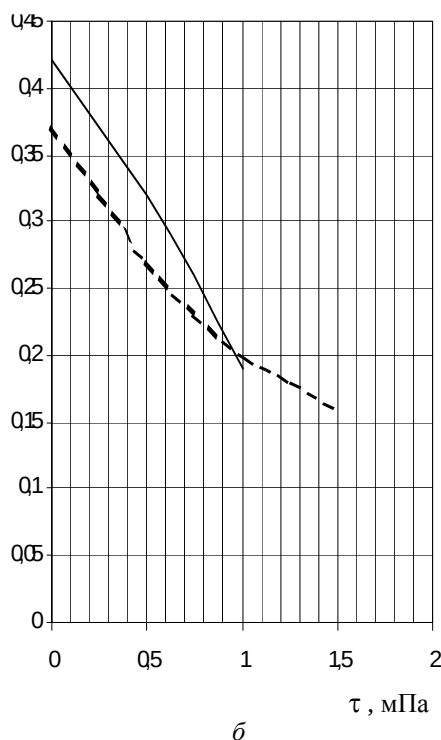


Рис. 3. Зависимость утечки Q в стыке образцов от касательного напряжения τ (— — стык без лазерной обработки поверхностей контакта; - - - - - — стык подвергнут избирательной лазерной закатке поверхностей контакта; $\sigma = 2,5 \text{ МПа}$; давление воздуха -10 МПа): а — $Ra = 0,32 \text{ мкм}$; б — $Ra = 0,16 \text{ мкм}$

Таким образом, приложение к стыку, подвергнутому лазерной обработке, сдвигающего усилия до значений, не превышающих силу трения покоя, вызывает повышение герметичности в 2,2...2,4 раза, что хорошо согласуется с теоретическими результатами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2073130 на изобретение. Сдвигоустойчивое соединение / Бурлаченко О.В., Атопов В.И., Сердобинцев Ю.П. Оpubл. 1997. 4 с.
2. Патент № 2170919 на изобретение. Устройство для измерения контактных деформаций / Бурлаченко О.В., Заболотный Р.В. Оpubл. 2001. 4 с.

1. Patent № 2073130 na izobreteniyе. Sdvigoustoychivoye soyedineniye / Burlachenko O.V., Atopov V.I., Serdobintsev U.P. 1997. 4 s.

2. Patent № 2170919 na izobreteniyе. Ustroystvo dlya izmereniya kontaktnykh deformatsiy / Burlachenko O.V., Zabolotnyy R.V. 2001. 4 s.

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

© Бурлаченко О.В., Бурлаченко Е.А., 2010

УДК 621.762

В.Д. Орешкин, В.А. Луговая, Е.Т. Лобанова, И.Г. Лукина

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КАРБОБОРИДОВ ТИТАНА НА РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Выбраны оптимальные составы и созданы новые композиционные материалы на основе карбоборидов титана. Изучены физико-механические свойства разработанных материалов, определены области их применения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: композиционные материалы, детали механизмов и машин, карбобориды.

The optimum compositions and created new composites of materials based on titanium karbaboridov. Physico-mechanical properties of materials developed, identify areas of their application.

К e y w o r d s: composite materials, details of mechanisms and machines, karbaborihole.

В современной технике все большее распространение получает высокопрочный чугун для деталей механизмов и машин, рабочие поверхности которых работают в тяжелых условиях абразивного, газоабразивного и химического износа.

Одним из рациональных способов решения проблемы долговечности чугуновых рабочих органов является поверхностное их упрочнение карбидами и боридами тугоплавких металлов IV—VI групп Периодической системы элементов. Особенно большие перспективы открываются в связи с использованием для этих целей тугоплавких соединений титана, отличающихся доступностью, высокими показателями макро- и микротвердости, прочности и износостойкости и других полезных физико-технических свойств.

Порошкообразные упрочняющие материалы на основе карбоборидов тугоплавких металлов — сплавы типа БХ и КБХ — завоевали широкую известность и успешно применяются в промышленности для наплавки на рабочие поверхности стальных изделий [1—3]. Данных об использовании таких материалов для упрочнения чугуновых изделий нет. Поэтому были проведены широкие исследования по применению карбоборидов титана для армирования поверхностных рабочих слоев деталей, изготовленных из конструкционных чугунов.

Исходными наплавочными материалами служат карбид титана и двойной борид титана-хрома. Упрочнение проводилось электрошлаковым способом по методике, разработанной автором [4]. Наплавка осуществлялась в один слой толщиной 3...4 мм в зависимости от дозирования порции порошковой смеси.

В таблице приведены состав и средние значения макро- и микротвердости наиболее характерных покрытий на чугуновые рабочие поверхности.

Большинство из приведенных в таблице композиций имело вполне удовлетворительные технологические свойства и давало ровные и чистые наплавленные слои. Однако чистые карбид титана и двойной борид титана-хрома в силу плохой смачиваемости [5] наносились на чугуновые поверхности с большим трудом. Применение подслоев из железа, ферромарганца или нике-

ля, а также поверхностно-активных веществ в составе флюса [4] облегчило эту задачу и позволило осуществить сплавление всех композиций с чугуном. Особенно хорошие результаты получались при наплавке комплексных смесей, содержащих феррованадий.

Состав наплавов	Твердость после наплавки HV	Микротвердость, кгс/мм ²				
		карбоборидов	эвтектики	светлой составляющей	темной составляющей	в зоне сплавления
1. 100% TiC	740	1700	1200	1290	724	274
2. 90% TiC+10%Fe	710	1630	1100	1190	680	270
3. 80% TiC+20%Fe	700	1620	1010	1105	654	266
4. 70% TiC+30%Fe	660	1300	920	980	605	254
5. 90% TiC+10%Ni	710	1630	1200	1270	720	258
6. 80% TiC+20%Ni	635	1620	1010	1110	660	258
7. 70% TiC+30%Ni	620	1280	910	960	560	260
8. 100%(Ti,Cr)	748	2290	1290	1530	824	350
9. 90%(Ti,Cr)B ₂ +10%Ni	730	1850	1100	1290	824	284
10. 80%(Ti,Cr)B ₂ +20%Ni	720	1700	1010	1170	790	280
11. 70%(Ti,Cr)B ₂ +30%Ni	700	1680	980	1080	720	270
12. 70%TiC+20%Ni +5% FeMn+5%FeV	640	1780	1100	1250	824	290
13. 70%TiC+20%FeMn+5%Ni+5%FeV	625	1620	1000	1100	670	266
14. 70%(TiCr)+20%Ni+5%FeMn+5%FeV	670	1610	980	1080	620	260

В наплавках без феррованадия структурно-свободный углерод в виде графита, который присутствует в структуре высокопрочных чугунов, диффундирует в наплавленный металл, скапливаясь в основном вдоль линии сплавления. Объемы, занятые графитом, являются местами наибольшей слабости, в которых образуются трещины между основным и наплавленным металлом (рис. 1, а). Ванадий, имеющий большее сродство к углероду, чем железо, связывает свободный углерод в тугоплавкие карбиды VC, уменьшая или предотвращая его диффузию в наплавленный металл. Вероятность образования трещин по линии сплавления резко уменьшается (рис. 1, б). На рис. 1 приведены микроструктуры линии сплавления различных наплавов.

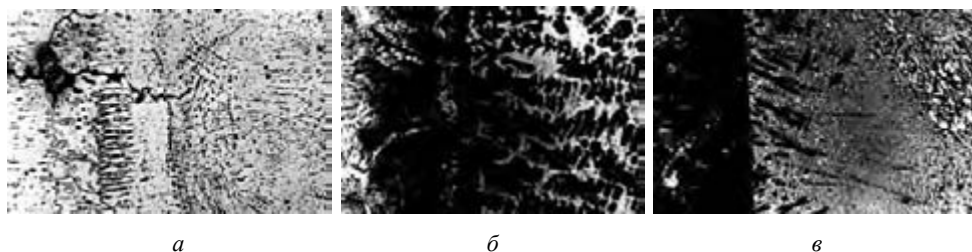


Рис. 1. Микроструктура линии сплавления наплавов, $\times 500$: а, б — без феррованадия, а — шлиф не травлен; в — содержащих 5 % феррованадия в шихте

Наплавленные слои (табл.) отличались высокой твердостью отдельных структурных составляющих, близкой к твердости их стехиометрического состава, а также макротвердостью, составляющей 700...730 HV.

Анализ микроструктур наиболее интересных покрытий показал, что электрошлаковая наплавка, протекающая при температуре 1730...1780 °С [4], не приводит к значительной диссоциации карбида титана и борида титана-хрома и потере в связи с этим их ценных природных качеств.

В наплавленном слое можно различить следующие структурные составляющие: карбиды, бориды, карбобориды, эвтектику, светлую составляющую аустенитно-мартенситного типа, темную троститно-мартенситную составляющую и переходную зону с ярко выраженным диффузионным характером.

На рис. 2 показаны микроструктуры наплавленного слоя на основе 70%TiC+20% Ni +5% FeMn+5%FeV (рис. 2, а), 70%TiC+20%FeMn+5%Ni+5%FeV (рис. 2, б) и 70%(TiCr)B₂+20%Ni+5%FeMn+5%FeV (рис. 2, в).

Из рис. 2 видно, что цементирующая фаза представляет твердый раствор боридов или карбидов в железо-никелевой связке. В периферийной наружной зоне четко выражена измельченность карбидных и карбоборидных включений титана, а также их эвтектическая направленность в сторону наибольшего отвода тепла при затвердевании. Измельченность структуры обязана присутствию ванадия, который, имея повышенное сродство к углероду, образует дисперсные карбиды вследствие некоторой диссоциации других, менее химически прочных тугоплавких соединений.

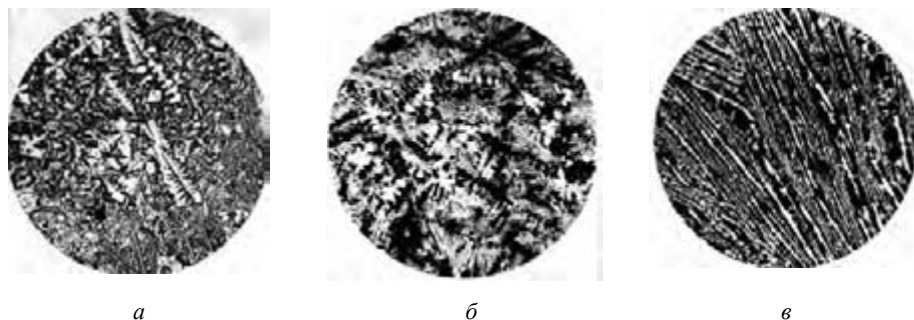


Рис. 2. Микроструктуры покрытий, образованных композициями: а — 70%TiC + 20%Ni + 5%FeMn + 5%FeV; б — 70%TiC + 20%FeMn + 5%Ni + 5%FeV; в — 70%(TiCr)B₂ + 20%Ni + 5%FeMn + 5%FeV

На рис. 3 показана микроструктура зоны сплавления композиции 70%(TiCr)B₂ + 20%Ni + 5%FeMn+5%FeV. Зона доэвтектического строения примыкает к линии сплавления, и в этой области четко видны дендритные карбоборидные образования. По мере удаления от линии сплавления количество свободного графита уменьшается. Трещин по линии сплавления нет.

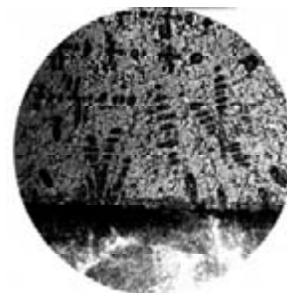


Рис. 3. Микроструктура зоны сплавления композиции 70%(TiCr)B₂ + 20%Ni + 5%FeMn + 5%FeV с чугуном перлитного класса, × 450

Оценка качества и долговечности наплавов производилась на основании механических испытаний на прочность при изгибе, растяжении и ударную вязкость. Для всех наплавов на чугуны промышленные образцы были определены также модуль нормальной упругости, усилие царапания, ширина царапания, относительная износостойкость. В результате найдена корреляционная зависимость между твердостью, модулем упругости, усилием царапания и износостойкостью.

На рис. 4 приведен график этой зависимости.

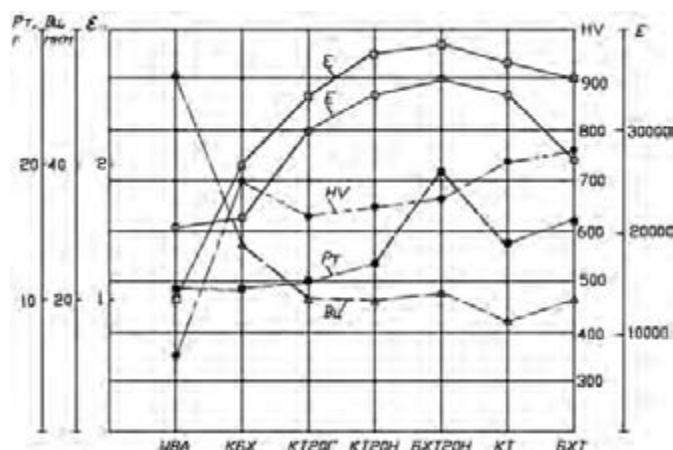


Рис. 4. График зависимости между твердостью HV , модулем нормальной упругости E , усилием царапания P_t , шириной царапания B_c и относительной износостойкостью ϵ_{sp} : КТ20Г — 70%TiC+20%FeMn + 5%Ni + 5%FeV; КТ20Н — 70%TiC+20% Ni + 5% FeMn + 5%FeV; БХТ20Н — 70%(TiCr)B₂ + 20%Ni + 5%FeMn + 5%FeV; КТ — 100%; БХТ — 100% (TiCr)B₂

Как видно, с увеличением твердости уменьшается ширина царапания, но возрастает величина тангенциального усилия царапания. С увеличением модуля нормальной упругости повышается относительная износостойкость. Из графика следует, что тугоплавкие композиции имеют в 2,0...2,5 раза более высокую износостойкость, чем промышленные наплавочные материалы КБХ и сталь У8А. Наибольшие показатели износостойкости имеют сплавы 70%TiC+20%Ni+5%FeMn+5%FeV и 70%(TiCr)B₂+20%Ni+5%FeMn+5%FeV.

Покртия на основе чистых карбида титана и двойного борида титана-хрома, несмотря на высокие значения модуля упругости, твердости, усилия царапания, обладают недостаточно удовлетворительными показателями ударной вязкости и сопротивления аэроабразивному изнашиванию.

Введение до 20 % никеля существенно повышает все свойства. Присутствие никеля в цементирующей фазе придает ей прочность и пластичность и способствует получению мелкозернистых структур матрично-армированного строения. Наличие округлых зерен карбида титана и двойного борида титана-хрома в железо-никелевой матрице (см. рис. 2) свидетельствует о некотором растворении TiC и (TiCr)B₂ в твердом растворе и о получении диффузионных слоев на границе карбид — цементирующая фаза или борид — цементирующая фаза.

Как показывает химический анализ, диссоциация карбида титана и двойного борида титана-хрома в присутствии никеля подавляется, что обеспечивает

их высокий переход в наплавленный слой и образование структур, состоящих из большого количества мелких карбидов, боридов и карбоборидов, равномерно распределенных в вязкой и прочной основе. Химический и металлографический анализ показывают, что переход титана и хрома в наплавленный слой составляет около 60 %. При этом карбоборидная фаза занимает в структуре около 70 % всего объема покрытия. Это создает принципиально новую возможность высокого легирования наплавленного слоя соединениями титана.

Применение карбида титана и двойного борида титана-хрома при армировании рабочих поверхностей деталей, изготовленных из конструкционного чугуна, вполне оправдано. Помимо доступности и дешевизны, чугун по сравнению со сталью имеет следующие преимущества:

1) низкая температура плавления и удовлетворительная смачивающая способность, особенно в случае применения никелевых подслоев;

2) возможность растворять указанные соединения и образовывать с ними твердые растворы повышенной прочности и твердости;

3) способность отдавать свой свободный углерод на образование дополнительных соединений с металлами, имеющими к нему наибольшее сродство, например с ванадием. В поверхностных слоях в связи с этим не обнаруживается свободный графит, который является местом слабины в деталях.

Таким образом, для механизмов и деталей, которые характеризуются специфическими условиями изнашивания и от которых не требуется повышенная пластичность, использование чугунных рабочих поверхностей с тугоплавкими упрочняющими покрытиями экономически эффективно.

Промышленные испытания карбоборидных покрытий на чугунных лопатках размольного оборудования подтверждают этот вывод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самсонов Г.В. Наплавочные сплавы на основе тугоплавких соединений. Киев : Наукова думка, 1978. 265 с.
2. Искольдский И.И. Наплавочные боридные твердые сплавы. М. : Машиностроение, 1970. 71 с.
3. Орешкин В.Д., Светлополянский В.И., Луговая В.А. Особенности формирования структуры и свойств тугоплавких износостойких покрытий // Порошковая металлургия. 1976. № 8. С. 91—97.
4. Светлополянский В.И. Электрошлаковая наплавка стали тугоплавкими соединениями : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев : Ин-т проблем материаловедения АН УССР, 1971.
5. Панасюк А.Д., Масленникова В.Р., Гордиль Г.Н. Особенности межфазного взаимодействия неметаллических карбидов с жидкими металлами // Адгезия расплавов и пайка материалов. Киев : Наукова думка, 1983. С. 49—52.
1. Samsonov G.V. Naplavochnyye splavy na osnove tygoplavkikh soyedineniy. Kiev : Naykova dymka, 1978. 265 s.
2. Iskol'dskiy I.I. Naplavochnyye boridnyye tverdyye splavy. M. : Mashinostroeniye, 1970. 71 s.
3. Oreshkin V.D., Svetlopolyanskiy V.I., Lugovaya V.A. Osobennosti formirovaniya struktury i svoystv tygoplavkikh iznosostoykikh pokrytiy // Poroshkovaya metallurgiya. 1976. № 8. S. 91—97.
4. Svetlopolyanskiy V.I. Elektroshlakovaya naplavka stali tygoplavkimi soedineniyami : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Kiev : In-t problem materialovedeniya AN YSSR, 1971.
5. Panasuk A.D., Maslennikova V.R., Gordin' G.N. Osobennosti mezhfaznogo vzaimodeystviya nemetallicheskih karbidov s zhidkimi metallami // Adgeziya rasplavov i payka materialov. Kiev : Naykova dymka, 1983. S. 49—52.

© Орешкин В.Д., Луговая В.А., Лобанова Е.Т., Лукина И.Г., 2010

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 536.24

В.П. Павлюков, В.М. Фокин, А.В. Бацура

АВТОНОМНАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ-КОТЕЛ ДЛЯ ОБОГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ

Разработана конструкция топливной печи-котла для обогрева помещений индивидуальных бань, отопления частных домов, коттеджей, бытовых и производственных помещений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: энергосбережение, котел, продукты сгорания.

The design of the fuel boiler for the heating individual, heating private houses, cottages, welfare spaces and production premises is developed.

К e y w o r d s: power savings, boiler, copper, products of the combustion.

Для обогрева отдельных жилых и общественных зданий, помещений, коттеджей, частных домов, бань разработана автономная топливная печь-котел, позволяющая существенно повысить КПД за счет использования в топке системы воздухоподогревателей, теплоаккумулирующей загрузки, водяного пара и рециркуляции топочных газов [1, 2].

Топливная печь-котел содержит топку с колосниковой решеткой и зольником, камеру с теплоаккумулирующей загрузкой, бак-водонагреватель с наклонной трубой, введенной открытым концом в боковую стенку бака, а закрытым — в топочное пространство. Котел оснащен системой воздухоподогревателя, в которую включен теплообменный коллектор, на входе связанный с шибером. Котел имеет теплообменные устройства с входными наклонными и выходными коллекторами для нагрева воздуха, используемого для воздушного отопления помещений. Топка выполнена с боковыми поверхностями двойной кривизны. В топке установлена труба — емкость, заполненная теплоаккумулирующей загрузкой для получения пара. В топке также установлен пароперегреватель, образованный последовательно соединенными цилиндрами, наполненными теплоаккумулирующим материалом и соединенными со змеевиками, закрепленными над колосниковой решеткой таким образом, что их выходные отверстия направлены навстречу друг другу.

В котле имеется Г-образная камера с теплоаккумулирующей загрузкой (каменка), в которую подается пар, используемый для бань. Для повышения эффективности сжигания топлива в печи предусмотрена подача перегретого пара. Подготовка перегретого пара осуществляется в цилиндрах U-образного

контура, где поступающий из водонагревателя под давлением пар перегревается и выходит над колосниковой решеткой, поступая непосредственно в зону горения двумя встречными потоками. Сгорание топлива, таким образом, осуществляется в перегретой паровоздушной смеси.

Совокупность существенных признаков печи-котла позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики. Внутренние элементы конструкции печи, такие как наклонная труба водонагревателя, введенная в топочное пространство, пароперегревательный контур, блок теплообменных устройств воздухоподогревателей, позволили увеличить площадь поверхности конвективного и лучистого теплообмена.

Наличие воздухоподогревателя с прямым забором воздуха, который имеет выход в топочное пространство, позволяет турбулизировать поток газообразных продуктов сгорания, способствует сгоранию горючих газов, уменьшая при этом выброс вредных продуктов горения в атмосферу. При этом теплообменные устройства с наклонными коллекторами, предназначенными для забора воздуха из нижней части помещения, где он более холодный, позволяют прогреть воздух в топочном пространстве печи, который затем через выходные коллекторы поступает в помещение, могут служить устройствами дополнительного подогрева воздуха. Форма топки с боковыми поверхностями двойной кривизны позволяет увеличить срок эксплуатации печи, так как при этом, с одной стороны, исключена возможность прогорания стенок, а с другой — обеспечена возможность эффективной турбулизации горючих газов. Наряду с этим подача перегретого пара в зону горения также способствует турбулизации газов.

Для повышения КПД установки конструкция печи-котла [1, 2] была усовершенствована и модернизирована. На рисунке приведены поперечный и продольный разрезы усовершенствованной конструкции печи-котла.

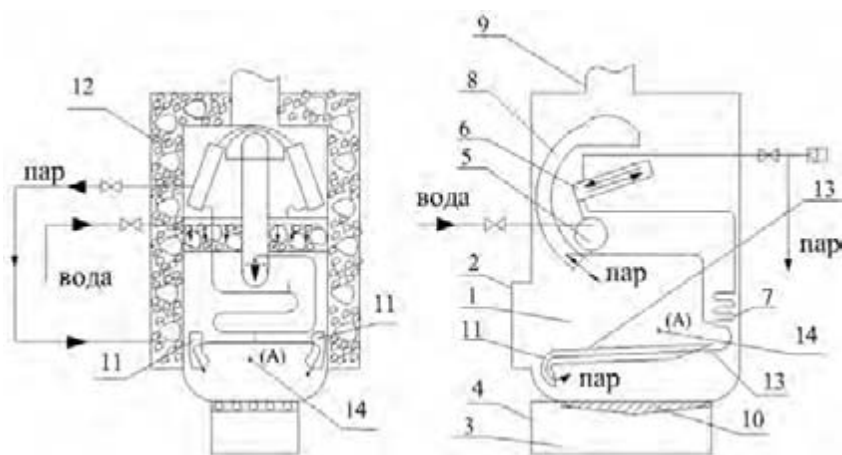


Схема автономной универсальной топливной печи-котла: 1 — топка с загрузочным люком; 2 — дверца люка топки; 3 — зольник; 4 — дверца зольника; 5 — парогенератор; 6 — V-образный контур пароперегревателя; 7 — змеевик пароперегревателя; 8 — устройство забора и подачи несгоревших топочных газов; 9 — отверстие с патрубком для выхода топочных газов; 10 — колосниковая решетка; 11 — устройство турбулизации горючих газов; 12 — П-образная емкость с теплоаккумулирующей загрузкой; 13 — трубки, подающие перегретый пар; 14 — точка (A)

Топливная печь-котел содержит топку с колосниковой решеткой и зольником, П-образную емкость с теплоаккумулирующей загрузкой, парогенератор с устройством перегрева и подачи пара в зону горения, а также устройством для забора и подачи топочных газов. Топочные газы из-под отверстия выхода топочных газов подаются в зону горения, где установлено устройство для увеличения турбулизации горючих газов в зоне горения. Работа устройства забора и подачи, а также устройства увеличения турбулизации происходит за счет инжекции.

Топка выполнена с боковыми поверхностями двойной кривизны. В топке установлена труба с теплоаккумулирующей загрузкой для получения пара.

В топке также установлен пароперегреватель, образованный последовательно соединенными цилиндрами, наполненными теплоаккумулирующим материалом, соединенными с змеевиком и подающими трубками, закрепленными в устройствах увеличения турбулизации горючих газов и в устройстве отбора и подачи топочных газов. Выходные отверстия устройств направлены в точку А. В котле имеется П-образная емкость с теплоаккумулирующей загрузкой (каменка), в которую подается пар, используемый для бань. Для повышения эффективности сжигания топлива в печи предусмотрена подача перегретого пара через устройства увеличения турбулизации горючих газов и через устройство забора и подачи топочных газов в зону горения.

Подготовка перегретого пара осуществляется в цилиндрах V-образного контура, в змеевике пароперегревателя, в подающих трубках, где поступающий из парогенератора под давлением пар перегревается и выходит через устройства увеличения турбулизации горючих газов. Далее пар через устройство забора и подачи топочных газов подается непосредственно в зону горения над колосниковой решеткой вместе с горючими и топочными газами. Сгорание топлива, таким образом, осуществляется в перегретой паровоздушной смеси с добавлением топочных газов.

Для обогрева помещений, оборудованных водяным отоплением (трубы, радиаторы), можно использовать П-образную емкость, выполненную герметично (частично или полностью) с патрубками входа и выхода нагреваемой жидкости. Излишки пара также можно использовать для обогрева помещений или других технических нужд. Совокупность существенных признаков печи-котла позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлюков В.П., Фокин В.М., Бацура А.В. Исследование работы автономной универсальной топливной печи-котла для обогрева помещений // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2010. Вып. 2 (12). Гос. рег. номер Информрегистра: 0421000065\0012.

2. Пат. 2363890 Российская Федерация, МПК F 24 В 904206.01, F 24 В 5/02. Топливная печь / Павлюков В.П. ; заявитель и патентообладатель Павлюков В.П. № 2007138525/03 ; заявл. 16.10.2007 ; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22.

1. Pavlyukov V.P., Fokin V.M., Bacyra A.V. Issledovaniye raboty avtonomnoy universal'noy toplivnoy pechi-kotla dlya obogreva pomescheniy // Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2010. Vyp. 2 (12). Gos. reg. nomer Informregistra: 0421000065\0012.

2. Pat. 2363890 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F 24 B 904206.01, F 24 B 5/02. Toplivnaya pech / Pavlyukov V.P. ; zayavitel i patentoobladatel Pavlyukov V.P № 2007138525/03 ; zayavl. 16.10.2007 ; opybl. 10.08.09, Byul. № 22.

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

© Павлюков В.П., Фокин В.М., Бацура А.В., 2010

УДК 536.24

Д.Г. Усадский, В.М. Фокин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПАРАМЕТРОВ ПАРОКАПЕЛЬНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ В СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

Приведены методика, эксперимент, расчет по определению теплотехнических свойств и параметров парокапельного нагревателя в стационарном тепловом режиме.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплотехнические свойства, парокапельный нагреватель.

Method, experiment, calculation by convention thermal characteristics and vapor-drip parameters in the stationary thermal mode are presented.

К e y w o r d s: thermal properties, parokapel'n heater.

Экспериментальное определение теплотехнических свойств и параметров парокапельного нагревателя произведено в стационарном тепловом режиме. Принцип работы парокапельного нагревателя основан на эффекте тепловой трубы [1].

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

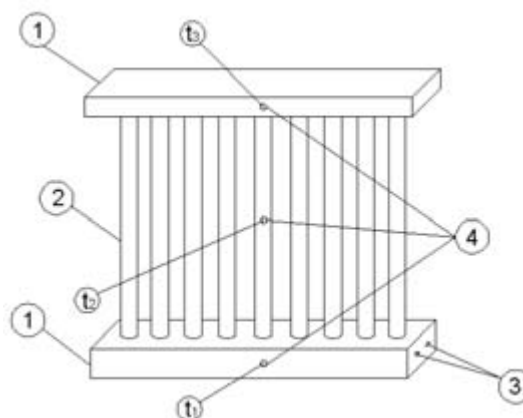


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 — профильная металлическая труба; 2 — круглая металлическая труба; 3 — ТЭН; 4 — места закрепления термопар

Парокапельный нагреватель представляет собой герметичную конструкцию и состоит из двух профильных металлических коллекторов 1. Коллекторы соединены между собой девятью цилиндрическими металлическими трубами 2 $\varnothing 34 \times 3$ мм. В нижний коллектор 1 вварены две обоймы, в которые установлены два трубчатых электронагревателя 3 мощностью 500 Вт каждый. Внутри парокапельного нагревателя помещено расчетное количество воды.

При работе парокапельного нагревателя вода в нижнем коллекторе 1 нагревается, превращается в пар, по трубам 2 поднимается в верхний коллек-

тор 1, пар конденсируется в верхнем коллекторе и стекает по трубам 2 обратно в нижний коллектор 1. Теплота, выделяющаяся при конденсации пара, передается стенкам труб. В стационарном режиме это количество теплоты передается за счет теплопроводности через стенки труб, и то же количество теплоты передается окружающему воздуху за счет конвекции и излучения.

Для исследования теплотехнических свойств выбраны парокапельный нагреватель ПКН-П с номинальной электрической мощностью 1000 Вт производства ООО «ВЭСТ» и разработана экспериментальная установка.

Для измерения температур на поверхности нагревателя используются термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ДТПЛ-011-0,5/1,5. Места установки термопар показаны на рис. 1. ТермоЭДС от термопар поступает на входы модуля ввода аналогового измерительного прибора МВА8 производства ООО «ОВЕН». Прибор имеет сертификат соответствия № 03.009 0099, класс точности прибора составляет 0,5. Прибор МВА8 работает в сети RS-485 по одному из стандартных протоколов: OVEN, ModBus (RTU и ASCII) или DCON.

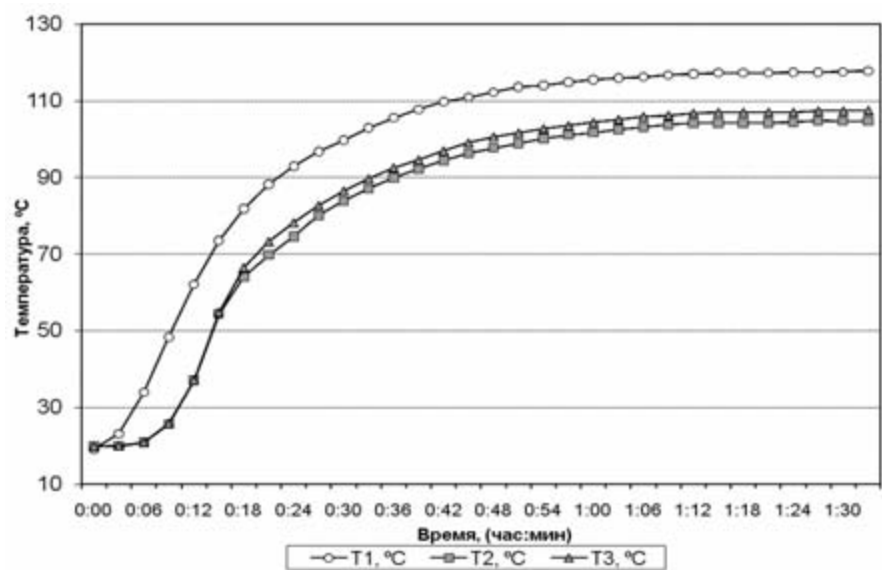
Для передачи данных от прибора МВА8 на персональный компьютер использован преобразователь интерфейсов AC4. Прибор AC4 имеет сертификат соответствия № 03.009.0331. Прибор AC4 обеспечивает взаимное электрическое преобразование сигналов интерфейсов USB и SR-485.

ТермоЭДС от термопар, закрепленных на поверхности нагревателя, посредством приборов МВА8 и AC4 преобразуется в аналоговый электрический сигнал и поступает на порт USB персонального компьютера. Для сбора данных на компьютере установлена программа Owen Process Manager. Данная программа позволяет регистрировать величины температур с заданным интервалом времени. Программа регистрации температуры запускается в работу одновременно с включением парокапельного нагревателя.

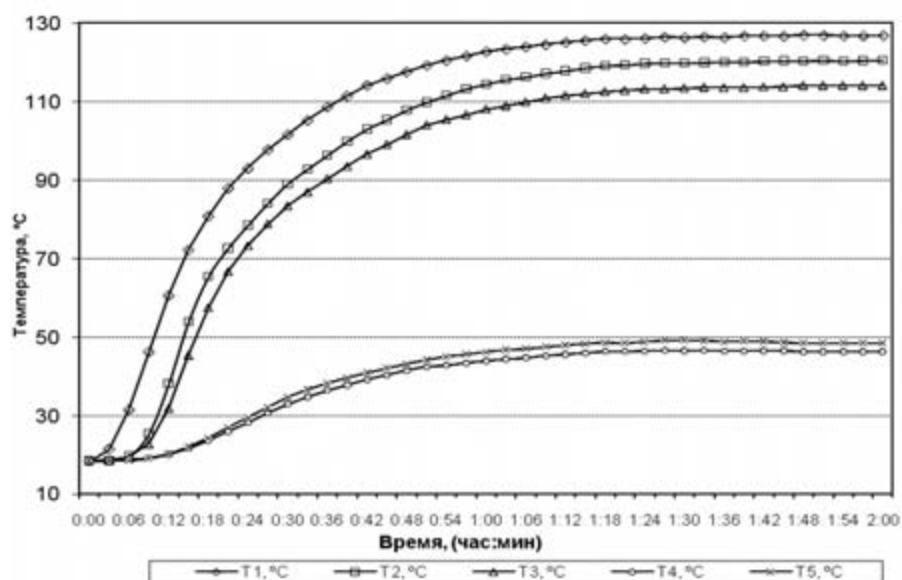
Исследования проводились для парокапельного нагревателя с кожухом и без кожуха. Защитный кожух парокапельного нагревателя изготовлен из металла толщиной 0,3 мм с отверстиями для свободного движения воздуха, покрашен снаружи и изнутри белой краской. При исследовании нагревателя с кожухом были установлены две дополнительные термопары на поверхности кожуха. В результате проведенных исследований построены графики распределения температур на поверхности парокапельного нагревателя без кожуха (рис. 2, *а*) и на поверхности парокапельного нагревателя с кожухом (рис. 2, *б*).

Площади наружных поверхностей парокапельного нагревателя составляют соответственно для нижнего коллектора 0,186 м², для верхнего коллектора — 0,1624 м², для вертикальных труб — 0,4422 м². Площадь поверхности кожуха составляет 1,178 м². Потребляемая мощность нагревателя установлена 1000 Вт.

Количество теплоты, передаваемое от поверхности исследуемых нагревателей окружающему воздуху, складывается из конвективного и лучистого теплообмена. Конвективным теплообменом называется процесс переноса теплоты между поверхностью твердого тела и внешней средой. При конвективном теплообмене процесс переноса теплоты неразрывно связан с молекулярным переносом самой среды. Интенсивность конвективного теплообмена характеризуется коэффициентом теплоотдачи α , который определяется по формуле Ньютона — Рихмана [3].



a



б

Рис. 2. График распределения температур на поверхности парокapельного нагревателя: *a* — без кожуха; *б* — с кожухом; T_1 — температура нижнего коллектора, °C; T_2 — температура вертикальных труб, °C; T_3 — температура верхнего коллектора, °C; T_4 — температура нижней части кожуха, °C; T_5 — температура верхней части кожуха, °C

В результате для определения количества выделившейся теплоты при конвективном теплообмене используем зависимость

$$Q_k = \alpha F (T_w - T_f), \quad (1)$$

где α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); F — площадь поверхности нагревателя, м²; T_w и T_f — температуры стенки и воздуха соответственно, К.

Корпус радиатора парокapельного нагревателя находится в металлическом кожухе, поэтому зависимость для вычисления среднего коэффициента теплоотдачи α при свободном движении воздуха между защитным кожухом и радиатором парокapельного нагревателя имеет вид

$$Nu_{\text{ж}} = C(GrPr)_{\text{ж}}^n \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

где поправка $(Pr_{\text{ж}}/Pr_c)^{0,25}$ применяется при вычислении теплоотдачи для капельных жидкостей; постоянные C и n зависят от режима свободного движения и условий обтекания поверхности.

При $t_{\text{ж}} = 20$ °С физические свойства воздуха:

$$\alpha_{\text{ж}} = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}; \quad \nu_{\text{ж}} = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$Pr_{\text{ж}} = 0,703; \quad \beta_{\text{ж}} = \frac{1}{t_{\text{ж}} + 273} = \frac{1}{293} \text{ К}^{-1}.$$

Значение среднего коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·°С), для нижнего и верхнего коллекторов парокapельного нагревателя рассчитывается

$$(GrPr)_{\text{ж}} = g\beta_{\text{ж}} \frac{\Delta t H^3}{\nu_{\text{ж}}^2} Pr_{\text{ж}} = 9,81 \frac{1}{293} \frac{40 \cdot 0,08^3 \cdot 10^{12}}{(15,06)^2} 0,703 = 2,13 \cdot 10^6.$$

При полученном значении $(GrPr)_{\text{ж}}$ по табл. [2, с. 146] $C = 0,5$; $n = 0,25$. Тогда

$$Nu_{\text{ж}} = 0,5 \left(2,13 \cdot 10^6 \right)^{0,25} = 19,09;$$

$$\alpha = Nu_{\text{ж}} \frac{\lambda_{\text{ж}}}{H} = 19,09 \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{0,08} = 6,18.$$

Значение среднего коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·°С), для вертикальных труб парокapельного нагревателя рассчитывается

$$(GrPr)_{\text{ж}} = g\beta_{\text{ж}} \frac{\Delta t H^3}{\nu_{\text{ж}}^2} Pr_{\text{ж}} = 9,81 \frac{1}{293} \frac{40 \cdot 0,8^3 \cdot 10^{12}}{(15,06)^2} 0,703 = 2,12 \cdot 10^9.$$

При полученном значении $(GrPr)_{\text{ж}}$ по табл. [2, с. 146] $C = 0,75$; $n = 0,25$. Тогда

$$Nu_{\text{ж}} = 0,75 \left(2,12 \cdot 10^9 \right)^{0,25} = 161,03;$$

$$\alpha = Nu_{\text{ж}} \frac{\lambda_{\text{ж}}}{H} = 161,03 \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{0,8} = 5,21.$$

Количество теплоты, передаваемое парокапельным нагревателем в окружающую среду излучением, определено по формуле Стефана — Больцмана:

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{П}} c_0 F \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_f}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

где $c_0 = 5,6703 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ — излучательная способность абсолютно черного тела; $\varepsilon_{\text{П}}$ — приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей; F — взаимная площадь излучения поверхностей, м^2 ; T_w — температура излучающей поверхности, К; T_f — температура тепловоспринимающей поверхности, К.

Исследование парокапельного нагревателя производилось с защитным кожухом и без него. Без защитного кожуха общий тепловой поток от парокапельного нагревателя складывается из конвективного и лучистого теплового потока от радиатора нагревателя.

Используемый в процессе работы парокапельного нагревателя защитный кожух участвует в процессах лучистого и конвективного теплообмена. Поэтому при вычислении общего теплового потока необходимо учитывать конвективные и лучистые составляющие и радиатора нагревателя, и защитного кожуха.

Защитный кожух является экраном, поэтому в расчетах лучистого теплообмена между нагревателем и кожухом необходимо использовать приведенную степень черноты излучающей и воспринимающей поверхностей.

$$\varepsilon_{\text{П}} = \left[1 + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) \frac{F_{1-2}}{F_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \frac{F_{1-2}}{F_2} \right]^{-1}, \quad (4)$$

где ε_1 — степень черноты излучающей поверхности; ε_2 — степень черноты тепловоспринимающей поверхности; F_1 — площадь поверхности излучения, м^2 ; F_2 — площадь тепловоспринимающей поверхности, м^2 ; F_{1-2} — взаимная площадь излучения поверхностей, м^2 .

$$\varepsilon_{\text{П}} = \left[1 + \left(\frac{1}{0,84} - 1 \right) \frac{0,79 + 1,178}{0,79} + \left(\frac{1}{0,45} - 1 \right) \frac{0,79 + 1,178}{1,178} \right]^{-1} = 0,28.$$

КПД парокапельного нагревателя определяется по формуле

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{Q_{\text{эл}}} 100\%, \quad (4)$$

где $Q_{\text{общ}}$ — общий тепловой поток нагревателя, Вт; $Q_{\text{эл}}$ — электрическая мощность нагревателя.

После установившегося стационарного теплового режима определены средние температуры на поверхности нагревателя и защитного кожуха, которые приведены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

*Результаты исследований теплотехнических параметров
парокапельного нагревателя без кожуха*

Средняя температура нижнего части кожуха t_1 , °С	118,7
Средняя температура средней части кожуха t_2 , °С	106,8
Средняя температура верхней части кожуха t_3 , °С	108,8
Конвективный тепловой поток нагревателя Q_k , Вт	380,42
Лучистый тепловой поток нагревателя $Q_{л}$, Вт	532,54
Общий тепловой поток нагревателя $Q_{общ}$, Вт	912,97
КПД нагревателя, %	91,3

Т а б л и ц а 2

*Результаты исследований теплотехнических параметров
парокапельного нагревателя с кожухом*

Средняя температура нижнего коллектора t_1 , °С	125,9
Средняя температура вертикальных труб t_2 , °С	120,7
Средняя температура верхнего коллектора t_3 , °С	115,1
Средняя температура поверхности кожуха t_k , °С	46,8
Конвективный тепловой поток нагревателя Q_k , Вт	427,07
Лучистый тепловой поток нагревателя $Q_{л}$, Вт	206,09
Конвективный тепловой поток кожуха Q_k , Вт	205,44
Лучистый тепловой поток кожуха $Q_{л}$, Вт	77,35
Общий тепловой поток нагревателя с кожухом $Q_{общ}$, Вт	915,95
КПД нагревателя, %	91,6

Экспериментальными исследованиями (5 опытов) определены теплотехнические параметры парокапельного нагревателя, коэффициент полезного действия нагревателя с защитным кожухом и без защитного кожуха. В результате исследований определен КПД нагревателя в пределах 91...92 %, что позволяет сделать вывод о верно выбранной методике исследований и правильности расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усадский Д.Г. Энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения и отопления // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы 7-й Междунар. науч. конфер., 13—17 мая 2009 г., Волгоград. Волгоград : ВолгАСУ, 2009. С. 228—232.

2. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М. : Энергия, 1975. 280 с.

3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 3-е изд., репринт. М. : ИД «БАСТЕТ», 2010. 344 с.

1. Usadsky D.G. Energoberegayshchiye tekhnologii v sistemakh teplosnabzheniya i otopleniya : Kachestvo vnutrennego vozdukhа i okruzhayshchey sredy : materyaly 7-i Mezhdunar. nauch. konfer., 13—17 maya 2009 g., Volgograd. Volgograd : VolgASU, 2009. S. 228—232.

2. Krasnoshekov E.A., Sukomel A.S. Zadachnik po teploperedache. M. : Energiya, 1975. 280 s.

3. Miheev M.A., Miheeva I.M. Osnovy teploperedachi. 3-e izd., reprint. M. : ID «BASTET», 2010. 344 s.

© Усадский Д.Г., Фокин В.М., 2010

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

УДК 536.24

А.В. Ковылин, В.М. Фокин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКОННОГО СТЕКЛА ДЛЯ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ

Приведен расчет по определению коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости оконного стекла толщиной 12 мм методом неразрушающего контроля с использованием измерителя теплопроводности ИТМ-МГ4, а также опыт с двух-, трех-, четырехслойным остеклением ограждения здания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплофизические свойства, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоусвоения, коэффициент температуропроводности, коэффициент объемной теплоемкости, оконное стекло.

The calculation by the definition of heat conductance, thermal diffusivity and volumetric heat capacity of the window glass nesses of 12 mm thick the nondestructive inspection technique using the thermal conductivity meter ITM-MG4, and also experience with double-, three-, four-layer glazing enclosure of the building is reduced.

К е у w o r d s: heat-transfer properties, heat conductance, heat absorption coefficient, thermal diffusivity, volumetric heat capacity coefficient, window glass.

Исследования теплофизических свойств (ТФС) оконного стекла для ограждения зданий проводились методом неразрушающего контроля, разработанным на кафедре энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ [1], с использованием двух электронно-измерительных приборов: измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 и теплографа.

Для определения ТФС оконного стекла методом неразрушающего контроля с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 измерялись температуры центра $T_{\text{ц}}$ образца при нагреве и выводились на его электронный блок.

Для определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, температуропроводности и объемной теплоемкости был взят образец стекла плотностью $\rho = 2473 \text{ кг/м}^3$, размерами $251 \times 251 \times 12 \text{ мм}$. Площадь поверхности образца $F = 0,063001 \text{ м}^2$.

Предварительно, перед проведением опыта, образец стекла охлаждается в холодильной установке до температуры $t = 0 \dots 5 \text{ }^\circ\text{C}$. При исследовании образца оконного стекла получены следующие показания прибора: удельный тепловой поток $q = 400,4 \text{ Вт/м}^2$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,481 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$, время проведения опыта $z = 5400 \text{ с}$.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

Определение ТФС стекла методом неразрушающего контроля сводится к следующей последовательности.

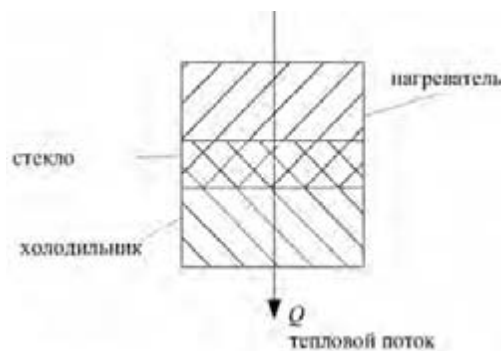


Рис. 1. Принципиальная схема установки для определения ТФС оконного стекла методом неразрушающего контроля

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны ϑ , °С, при нагреве образца со стороны нагревателя численно равна [2]

$$\vartheta = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(25,7 - 1) = 12,35, \quad (1)$$

где $t_1 = 25,7$ °С — максимальная температура поверхности стекла на стороне нагревателя; $t_2 = 1$ °С — минимальная температура поверхности стекла.

Коэффициент теплоусвоения стекла B , Вт/(м²·К), определяется по формуле [2]

$$B = q / \vartheta = 400,4 / 12,35 = 32,42, \quad (2)$$

где q — удельный тепловой поток, Вт/м²; ϑ — максимальная амплитуда колебаний температурной волны на наружной поверхности стекла.

Объемная теплоемкость стекла $c\rho$, кДж/(м³·К), определяется из соотношения [2]

$$c\rho = (B^2 z) / (\lambda 2\pi) = (32,42^2 \cdot 5400) / (0,481 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1879. \quad (3)$$

Коэффициент температуропроводности стекла a , м²/с, определяется из соотношения (4) и составляет:

$$a = \lambda / (c\rho) = 0,481 / 1879000 = 0,256 \cdot 10^{-6}. \quad (4)$$

Для определения ТФС оконного стекла для ограждения зданий методом неразрушающего контроля с использованием теплографа образец был установлен в наружный проем ограждающей конструкции здания, проводились измерения температур наружной и внутренней поверхностей стекла, а также теплового потока в течении 24 ч. Плотность образца $\rho = 2474$ кг/м³.

На рис. 2 приведены экспериментальные распределения по часам в течение суток с интервалом в 1 ч: температуры внутренней $T_{\text{вн}}$ и наружной поверхности оконного стекла $T_{\text{нар}}$, °С, теплового потока на наружной поверхности стекла $q_{\text{нар}}$, Вт/м².

При максимальной плотности теплового потока $q_n^{\text{max}} = 27$ Вт/м² температура наружной поверхности оконного стекла составляла $t_{\text{нар}} = 10,8$ °С, температура внутренней поверхности $t_{\text{вн}} = 11,5$ °С. Разность температур наружной и внутренней поверхности составила $\Delta t = 11,5 - 10,8 = 0,7$ °С. Толщина оконного стекла для ограждения здания составила $\delta = 0,012$ м.

Определение ТФС оконного стекла методом неразрушающего контроля с помощью тепломера сводится к следующей последовательности.

Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К), определяется по формуле

$$\lambda = (q_n^{\text{max}} \delta) / (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) = (27 \cdot 0,012) / (11,5 - 10,8) = 0,463. \quad (5)$$

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны на наружной поверхности оконного стекла равна [2]:

$$\vartheta = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(17,5 - 10,4) = 3,55, \quad (6)$$

где $t_1 = 17,5$ °С — максимальная температура наружной поверхности стекла; $t_2 = 10,4$ °С — минимальная температура наружной поверхности стекла.

Коэффициент теплоусвоения стекла

$$B = q / \vartheta = 27 / 3,55 = 7,61. \quad (7)$$

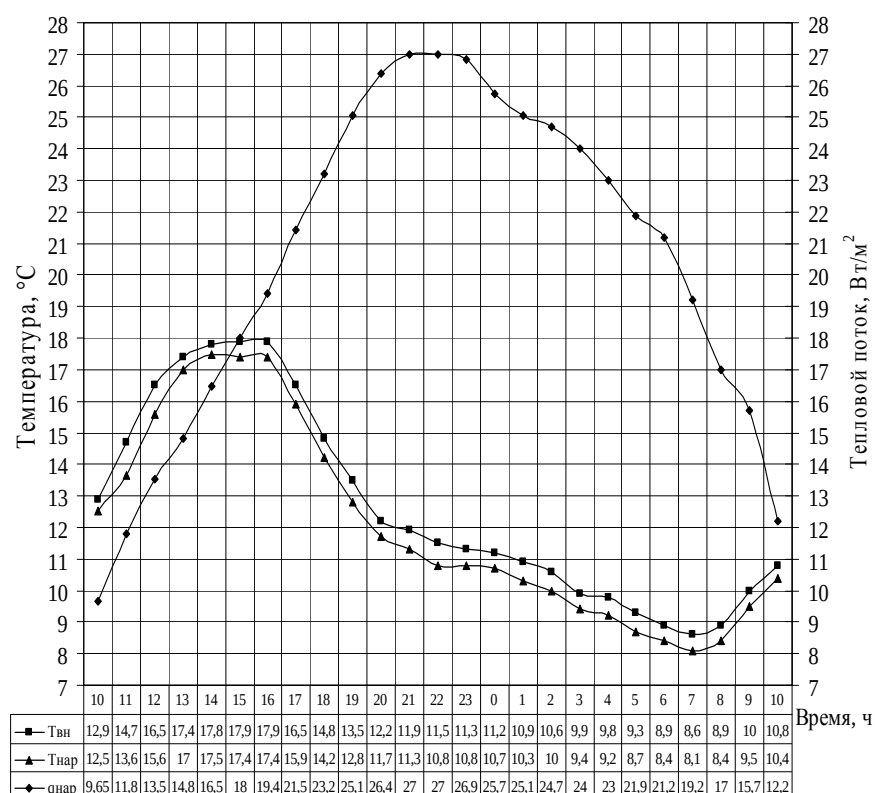


Рис. 2. Экспериментальные распределения температур и теплового потока оконного стекла

Объемная теплоемкость стекла

$$c_p = \left(B^2 z \right) / (\lambda 2\pi) = (7,61^2 \cdot 86400) / (0,463 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1720. \quad (8)$$

Коэффициент температуропроводности стекла составляет

$$a = \lambda / (c_p) = 0,463 / 1720000 = 0,269 \cdot 10^{-6}. \quad (9)$$

Рассчитанные значения коэффициента теплопроводности λ , объемной теплоемкости c_p , коэффициента температуропроводности a для методов неразрушающего контроля приведены в таблице.

Теплофизические свойства стекла

Измеритель	λ , Вт/(м·К)	c_p , кДж/(м ³ ·К)	a , м ² /с
ИТП-МГ4	0,481	1879	$0,256 \cdot 10^{-6}$
Теплогрaф	0,463	1720	$0,269 \cdot 10^{-6}$
Погрешность	3,7	8,4	4,8

Остекление в ограждении зданий имеет значительные потери тепловой энергии. Нами было исследовано влияние двух-, трех-, четырех слоев оконного стекла на потери теплоты.

Нами был проведен эксперимент с 2-, 3-, 4-слойным остеклением ограждения здания. Вначале замеряли температуры внутренней и наружной по-

верхности оконного стекла, а также теплового потока при четырехслойном остеклении, затем при трех- и двухслойном остеклении ограждения зданий.

На рис. 3 приведены экспериментальные распределения температуры внутренней $T_{\text{вн}}$ и наружной $T_{\text{нар}}$, °С, поверхности оконного стекла, удельного теплового потока на наружной поверхности стекла $q_{\text{нар}}$, Вт/м², при 4- (А), 3- (Б), 2-слойном (В) остеклении.

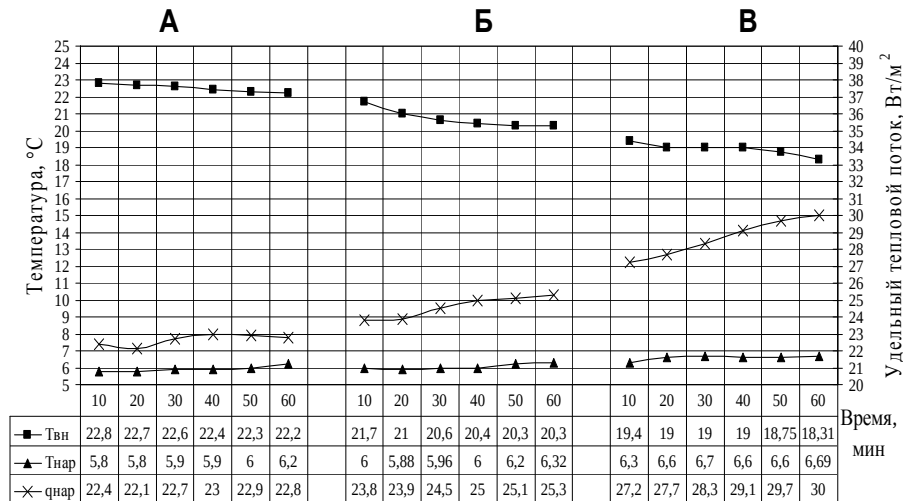


Рис. 3. Изменения температур и теплового потока 2-, 3-, 4-слойного остекления ограждения здания: А — 4 стекла, Б — 3 стекла, В — 2 стекла

Расстояние между стеклами составляло 15 мм. При 4-слойном остеклении удельный тепловой поток изменялся от 22,1 до 23 Вт/м², при 3-слойном — от 23,8 до 25,3 Вт/м², при 2-слойном — от 27,2 до 30 Вт/м².

Выводы. 1. При наличии 3-слойного остекления удельный тепловой поток относительно 2-слойного снижается на 25 %, а при наличии 4-слойного — на 50 %.

2. Предложенная методика определения ТФС стекла позволяет достаточно точно определить коэффициент теплопроводности, объемную теплоемкость и коэффициент температуропроводности методом неразрушающего контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М. Научно-методологические основы определения теплофизических свойств материалов методом неразрушающего контроля. М. : Машиностроение-1, 2003. 140 с.
2. Фокин В.М., Ковылин А.В. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2009. № 14(33). С. 123—127.
1. Fokin V.M. Nauchno-metodologicheskiye osnovy opredeleniya teplofizicheskikh svoystv materialov metodom nerazrushayushchego kontrolya. M. : Mashinostroyeniye-1, 2003. 140 s.
2. Fokin V.M., Kovylin A.V. Teoreticheskiye osnovy opredeleniya teploprovodnosti, obymnoy teployemkosti i temperaturoprovodnosti materialov po teplovym izmereniyam na poverkhnosti metodom nerazrushayushchego kontrolya // Vestnik Volgogr. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkh. 2009. № 14 (33). S. 123—127.

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

© Ковылин А.В., Фокин В.М., 2010

УДК 536.46

В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, В.В. Гулак

ДИНАМИКА ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В СООБЩАЮЩИХСЯ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ И ДЕЙСТВИИ ВЕНТИЛЯЦИИ

Получена математическая модель динамики воздушных потоков и концентраций дымовых газов при возникновении очага возгорания. Для описания аэродинамических процессов и процессов тепломассообмена использованы уравнения неразрывности, сохранения импульса, переноса тепла и переноса вещества. Проведено численное моделирование динамики воздушных потоков и концентраций дымовых газов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дымовые газы, математическое моделирование, очаг возгорания.

A mathematical model of dynamics of airflow and concentrations of smoke gases at origination of hotbed of fire has been obtained. Equations of continuity, conservation of momentum, heat and species transfer have been used for description of aerodynamic processes and processes of heat and mass exchange. Numerical modeling of dynamics of airflow and concentrations of smoke gases has been performed.

Key words: smoke gases, mathematical modeling, hotbed of fire.

Проектирование систем противодымной вентиляции с использованием традиционных методов не всегда позволяет спроектировать эффективную систему дымоудаления. В то же время прогнозирование распространения дыма с помощью вычислительной гидродинамики обладает рядом существенных преимуществ, одно из них — возможность работы со сложной геометрией помещений. Кроме того, при численном моделировании появляется возможность получения разнообразной локальной информации о потоках, такой как скорость, температура, концентрация дымовых газов в пределах пространства моделирования.

В данной работе методы численного моделирования использовались для изучения процесса формирования воздушных потоков и распространения нагретых дымовых газов в помещении сложной конфигурации при возникновении пожара.

Основой математической модели является одна из форм уравнений Навье — Стокса, применяемая в тех случаях, когда моделируются потоки с существенно дозвуковой скоростью течений [1, 2, 5, 7]. Модель включает следующие уравнения:

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \rho \bar{u} = 0, \quad (1)$$

где ρ — плотность; t — время; $\bar{u} = \bar{u}(u, v, w)$ — вектор скорости;

уравнение сохранения импульса

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}) + \nabla \rho \bar{u} \bar{u} + \nabla p = \rho \bar{g} + \bar{f}_b + \nabla \tau_{ij}, \quad (2)$$

где $\bar{g}$ — гравитационный вектор в виде $(0, 0, -g)$, где g — ускорение свободного падения; p — давление; $\bar{f}_b$ — вектор внешних сил, за исключением силы тяжести; τ_{ij} — тензор вязких напряжений;

уравнение переноса тепла

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \rho h_s \bar{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \bar{q}'' , \quad (3)$$

где h_s — энтальпия вещества s ; $\dot{q}'''$ — скорость тепловыделения на единицу объема; $\bar{q}''$ — вектор теплового потока;

уравнение состояния воздуха

$$p = \frac{\rho R T}{\mu} , \quad (4)$$

где R — универсальная газовая постоянная; T — температура; μ — молярная масса воздуха;

уравнение переноса дымовых газов

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_\alpha) + \nabla \rho Y_\alpha \bar{u} = \nabla \rho D_\alpha \nabla Y_\alpha + \dot{m}_\alpha''' , \quad (5)$$

где D_α — коэффициент диффузии дымовых газов; $\dot{m}_\alpha'''$ — выделение дымовых газов; Y_α — концентрация дымовых газов.

В уравнении сохранения импульса член $\bar{u}\bar{u}$ представляет собой тензор, состоящий из двух элементов. В матричном виде, где $\bar{u} = [u, v, w]^T$, этот тензор получен как тензорное произведение двух векторов $\bar{u}$ и $\bar{u}^T$. Член $\nabla \rho \bar{u}\bar{u}$ представляет собой вектор, полученный применением векторного оператора $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$ к тензору. Член $\bar{f}_b$ в уравнении импульса представляет внешние силы. Тензор напряжений τ_{ij} определяется следующим образом:

$$\tau_{ij} = \mu \left(2S_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} (\nabla \bar{u}) \right) , \quad (6)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) , \quad (7)$$

где i, j принимают значения 1, 2, 3; μ — динамическая вязкость воздуха.

Член S_{ij} представляет собой симметричный тензор относительной деформации, записанный в общепринятой тензорной форме.

Поскольку было предположено, что потоки имеют существенно дозвуковую скорость, дивергенция потока $\nabla \bar{u}$ играет существенную роль в получении решения. Дивергенция получается путем взятия индивидуальной производной видоизмененного уравнения состояния и дальнейшего замещения членов из уравнений сохранения массы и энергии. Для m -й зоны с фоновым давлением $\bar{p}_m$ дивергенция может быть записана как

$$\nabla \bar{u} = \bar{D} - \hat{p} \frac{\partial \bar{p}_m}{\partial t} , \quad (8)$$

где

$$\hat{P} = \frac{1}{\bar{P}_m} \left(1 - \frac{R}{\bar{\mu} c_p} \right) \quad (9)$$

и

$$\begin{aligned} \hat{D} = & \frac{\dot{m}_b'''}{\rho} \frac{\bar{\mu}}{\bar{\mu}_b} + \frac{\bar{\mu}}{\rho} \sum_{\alpha} \nabla \left(\rho D_{\alpha} \nabla \left(\frac{Y_{\alpha}}{\mu_{\alpha}} \right) \right) + \frac{1}{\rho} \sum_{\alpha} \left(\frac{\bar{\mu}}{\mu_{\alpha}} - \frac{h_{s,\alpha}}{c_p T} \right) \dot{m}_{\alpha}''' + \hat{P} w_p g + \\ & + \frac{R}{\bar{\mu} c_p \bar{P}_m} \left(\dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \bar{q}'' - \sum_{\alpha} h_{s,\alpha} \nabla \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} + \dot{m}_b''' \sum_{\alpha} Y_{b,\alpha} c_{p,\alpha} (T_b - T) \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Изменение фонового давления со временем $\frac{\partial \bar{P}_m}{\partial t}$ является ненулевым только в том случае, если предположено, что помещение плотно закрыто. В этом случае фоновое давление $\bar{P}_m$ не может считаться константой, поскольку внутри помещения происходит увеличение или уменьшение массы и тепловой энергии. Производная фонового давления в m -й зоне давления по времени может быть выведена путем интегрирования уравнения (8) по объему зоны:

$$\frac{\partial \bar{P}_m}{\partial t} = \frac{\left(\int_{\Omega_m} \hat{D} dV - \int_{\partial \Omega_m} \bar{u} dS \right)}{\int_{\Omega_m} \hat{P} dV}. \quad (11)$$

Это уравнение представляет собой уравнение согласованности, что гарантирует, что при вдувании ветра либо возникновении очага пожара внутри плотно закрытого помещения происходит соответствующее уменьшение дивергенции в объеме.

Для нахождения численного решения уравнение импульса было упрощено:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - \bar{u} \omega + \nabla \hat{H} + \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{\infty}} \right) \nabla \tilde{P} = \frac{1}{\rho} \left((\rho - \rho_n) \bar{g} + \bar{f}_b + \nabla \tau_{ij} \right), \quad (12)$$

где $\hat{H} \equiv \frac{|\bar{u}|^2}{2} + \frac{\tilde{P}}{\rho_{\infty}}.$

При решении полученной системы уравнений принимались следующие ограничения: всем моделируемым поверхностям назначались граничные условия, указанные из соображений теплообмена на границах. Начальным условием для решения системы уравнений являлось начальное распределение скоростей и температур воздушных потоков. Численное решение производилось на равномерной прямоугольной сетке.

Основной алгоритм, применявшийся при численном решении, представляет собой явную схему предиктора-корректора, отличающуюся вторым порядком точности по пространству и времени [3, 4, 6]. Турбулентность моделировалась посредством модели крупных вихрей.

Все пространственные производные аппроксимировались конечными разностями второго порядка. Для обновления переменных потока использовалась явная схема предиктора-корректора со вторым порядком точности.

Алгоритмы численного решения математической модели были реализованы в виде компьютерной программы, созданной на языке программирования C++ в среде GCC.

Разработанная программа использована для расчета распространения нагретых дымовых газов в смежных помещениях, соединенных дверным проемом при наличии очага возгорания. Расчетная область представляет собой двухмерное сечение смежных помещений с размерами $6,0 \times 4,2(h)$ м (рис. 1). Помещения сообщаются через открытый дверной проем высотой 2,5 м.

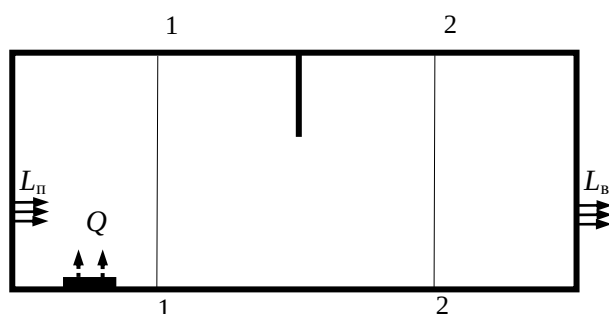


Рис. 1. Схема расчетной области, состоящей из двухмерных сечений двух смежных помещений: $L_{\text{п}}$ — расход приточного воздуха; $L_{\text{в}}$ — расход вытяжного воздуха; Q — выделение теплоты очагом возгорания; 1-1 и 2-2 — сечения помещений

В нижней части левого помещения находится очаг возгорания. Температура ограждающих конструкций 293 К, тепловая мощность очага возгорания 4 кВт, скорость выделения дымовых газов 0,01 кг/с. В начальный момент времени температура воздуха составляла 293 К, дымовые газы в воздухе помещения отсутствовали. Воздух подается в левое помещение на высоте 1 м через воздухораспределители со скоростью 0,1 м/с, удаление воздуха производится из правого помещения со скоростью 0,1 м/с. Кратность воздухообмена составляла 3 ч^{-1} .

Определяющими критериями подобия для исследуемого процесса являются [8]: число Жуковского $Zh = \frac{vt}{l_0^2}$, число Рейнольдса $Re = \frac{u_0 d_0}{\nu}$ и число

Рэля $Ra = \frac{g\beta l_0^3 \Delta T}{\nu a}$, где l_0 — характерный размер; u_0 — скорость приточной

струи; d_0 — диаметр приточного отверстия; ν — кинематическая вязкость воздуха; a — коэффициент температуропроводности воздуха; β — коэффициент температурного расширения; $\Delta T = T_n - T_\infty$ — разность температур на поверхности источника теплоты и окружающего воздуха. Расчеты проводились при $Re = 3,1 \cdot 10^3$; $Ra = 1,71 \cdot 10^{10}$; $0 < Zh < 2,12 \cdot 10^{-5}$.

Исследовалось формирование воздушных потоков и распределение относительных концентраций дымовых газов по высоте в двух сечениях, приведенных на рис. 1. Расчеты проводились на равномерной сетке. Максимальный

пространственный шаг составлял 0,1 м. На рис. 2 приведены линии тока воздуха при действии в помещении очага возгорания в различные моменты времени.

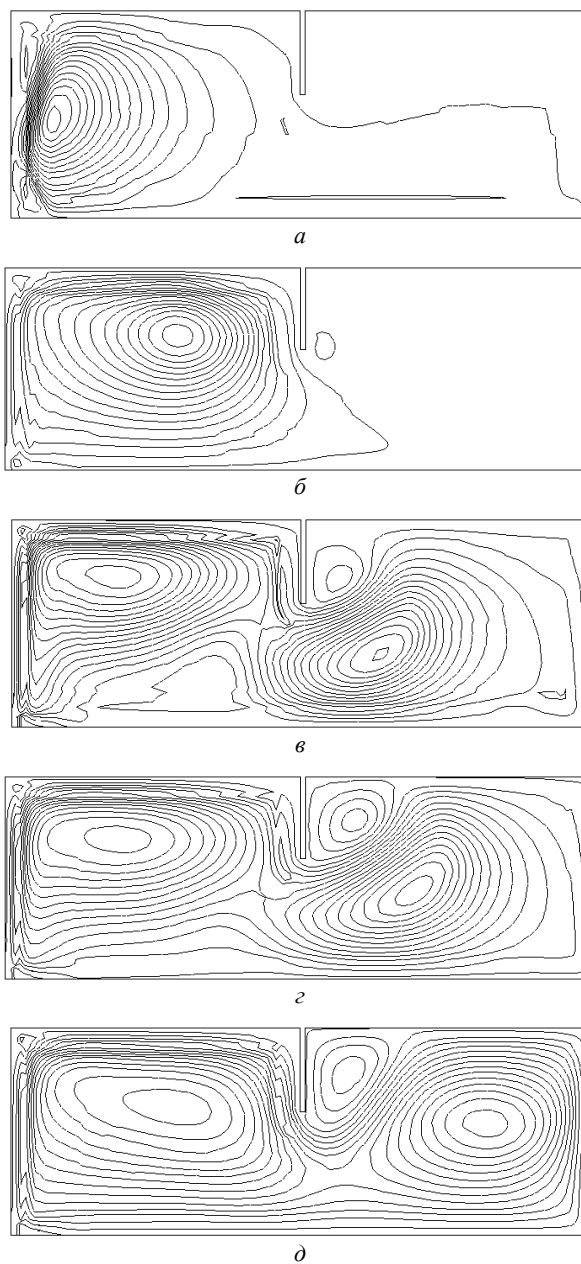


Рис. 2. Линии тока воздуха при действии в помещении очага возгорания: $Re = 3,1 \cdot 10^3$; $Ra = 1,71 \cdot 10^{10}$; Zh , равном: $a — 2,36 \cdot 10^{-6}$; $б — 4,71 \cdot 10^{-6}$; $в — 7,07 \cdot 10^{-6}$; $г — 1,41 \cdot 10^{-5}$; $д — 2,12 \cdot 10^{-5}$

Анализ рис. 2 показывает, что в левом помещении наблюдается формирование конвективной струи над источником возгорания, ее подъем, растекание по потолку и смещение влево. Восходящий поток горячего воздуха на

начальных стадиях развития течения неустойчив и, смешиваясь с холодным воздухом помещения, образует завихрения. Конвективная струя вначале находится над очагом возгорания, а затем ее начинает сносить влево поток воздуха, и в дальнейшем конвективная струя преобразуется в единый воздушный поток, циркулирующий по помещению. В правом помещении при $Zh < 5 \cdot 10^{-6}$ формируются две зоны вихревого движения. За счет воздействия циркулирующего воздушного потока в левом помещении в правом циркуляция потока ускоряется, при $Zh > 2 \cdot 10^{-5}$ две зоны вихревого движения объединяются в одну. При $Zh > 2 \cdot 10^{-5}$ воздушные потоки правого и левого помещения, циркулирующие по отдельности, объединяются в единую циркуляционную зону.

На рис. 3 приведено распределение относительных концентраций дымовых газов в помещении при действии очага возгорания.

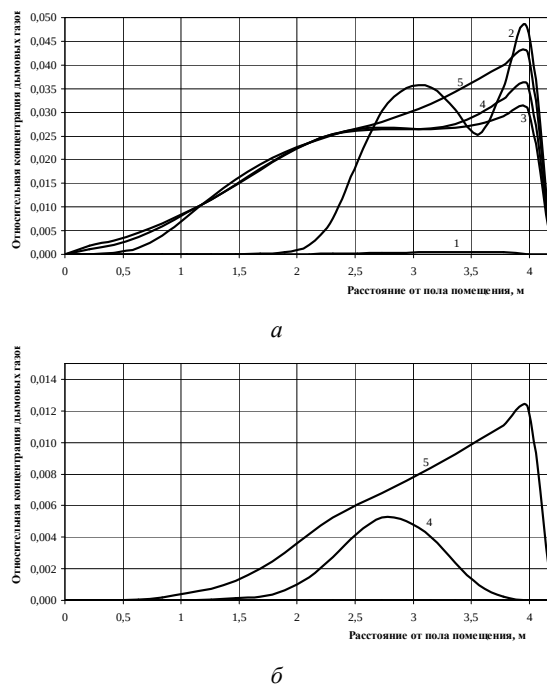


Рис. 3. Распределение относительных концентраций дымовых газов в помещении при действии в помещении очага возгорания: $Re = 3,1 \cdot 10^3$; $Ra = 1,71 \cdot 10^{10}$; а — сечение 1-1; б — сечение 2-2; Zh , равном: 1 — $2,36 \cdot 10^{-6}$; 2 — $4,71 \cdot 10^{-6}$; 3 — $7,07 \cdot 10^{-6}$; 4 — $1,41 \cdot 10^{-5}$; 5 — $2,12 \cdot 10^{-5}$

Анализ рис. 3 показывает, что дымовые газы распределяются по помещениям под действием воздушных потоков неравномерно. При $Zh < 3 \cdot 10^{-6}$ воздушные потоки в помещениях циркулируют по отдельности и дымовые газы распространяются преимущественно в левом помещении. При $Zh > 1 \cdot 10^{-5}$ дымовые газы проникают в правое помещение через дверной проем. Концентрация дымовых газов в помещениях изменяется от 0 у пола помещения до максимального значения у потолка помещения. При $Zh > 2 \cdot 10^{-5}$ функция изменения концентрации дымовых газов по высоте помещения близка к линейной.

Использованный подход позволил получить полную картину процесса распространения нагретых дымовых газов в смежных помещениях, соединенных дверным проемом, при наличии очага возгорания. Исследовано формирование воздушных потоков и распределение дымовых газов в помещениях. Результаты позволяют оценить вклад различных факторов в процесс задымления помещений и учесть их при проектировании систем дымоудаления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
2. Нестационарные процессы формирования системами вентиляции воздушных потоков в помещениях / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, А.В. Черемисин, К.А. Скляр / Известия Орловского гос. техн. ун-та. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 3-15. С. 36—42.
3. Нестационарное поле концентраций природного газа в скважине при его утечке из подземного газопровода / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, С.П. Павлюков, А.В. Черемисин // Приволжский научный журнал. 2008. № 4. С. 98—103.
4. Оценка аккумулирующей способности вентилируемых объемов для снижения требуемого воздухообмена в помещениях / В.Н. Мелькумов, И.С. Кузнецов, Л.Ю. Гусева, А.В. Черемисин // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. 2007. Т. 3, № 1. С. 205—207.
5. Формирование конвективных воздушных потоков при действии в помещении источника тепла / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, С.П. Павлюков, Р.Н. Кузнецов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2008. № 12. С. 76—80.
6. Мелькумов В.Н., Лапин В.А., Кобелев А.Н. Особенности тепломассообмена потока двухфазного теплоносителя на лопасти вихревого завихрителя // Научный вестник Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2008. № 3. С. 119—124.
7. Мелькумов В.Н., Кузнецов С.Н. Динамика формирования воздушных потоков и полей температур в помещении // Научный вестник Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2008. № 4. С. 172—178.
8. Мелькумов В.Н., Кузнецов С.Н. Взаимодействие вентиляционных воздушных потоков с конвективными потоками от источников теплоты // Известия вузов. Строительство. 2009. № 1. С. 63—70.
1. Patankar S. Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti. M.: Energoatomizdat, 1984. 152 s.
2. Nestatsionarnyye protsessy formirovaniya sistemami ventilyatsii vozdushnykh potokov v pomeshcheniyakh / V.N. Melkumov, S.N. Kuznetsov, A.V. Cheremisin, K.A. Sklyarov // Izvestiya Orlovskogo gos. tekhn. un-ta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. № 3-15. S. 36—42.
3. Nestatsionarnoye pole kontsentratsiy prirodnogo gaza v skvazhine pri ego utechke iz podzemnogo gazoprovoda / V.N. Melkumov, S.N. Kuznetsov, S.P. Pavlyukov, A.V. Cheremisin // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2008. № 4. S. 98—103.
4. Otsenka akumuliruyushchey sposobnosti ventiliruyemykh ob'ёмov dlya snizheniya trebuyemogo vozduhoobmena v pomeshcheniyakh / V.N. Melkumov, I.S. Kuznetsov, L.J. Guseva, A.V. Cheremisin // Vestnik Voronezh. gos. tekhn. un-ta. 2007. T. 3, № 1. S. 205—207.
5. Formirovaniye konvektivnykh vozdushnykh potokov pri deystvii v pomeshchenii istochnika tepla / V.N. Melkumov, S.N. Kuznetsov, S.P. Pavlyukov, R.N. Kuznetsov // Vestnik Volgograd. gos. arh.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2008. № 12. S. 76—80.
6. Melkumov V.N., Lapin V.A., Kobelev A.N. Osobennosti teplomassoobmena potoka dvukhfaznogo teplonositelya na lopasti vikhrevogo zavikhritelya // Nauchnyy vestnik Voronezh. gos. arh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2008. № 3. S. 119—124.
7. Melkumov V.N., Kuznesov S.N. Dinamika formirovaniya vozdushnykh potokov i poley temperatur v pomeshchenii // Nauchnyy vestnik Voronezh. gos. arh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2008. № 4. S. 172—178.
8. Melkumov V.N., Kuznesov S.N. Vzaimodeystviye ventilyatsionnykh vozdushnykh potokov s konvektivnymi potokami ot istochnikov teploty // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 1. S. 63—70.

© Мелькумов В.Н., Кузнецов С.Н., Гулак В.В., 2011

Поступила в редакцию в январе 2011 г.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 504.064.4

А.Б. Голованчиков, Г.И. Первакова, И.С. Бацоккин

ОЧИСТКА ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КАСКАДЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Изложена методика расчета для гидроциклонов, работающих в ламинарном режиме с высоковязкой дисперсной средой, позволяющая определять локальную степень улавливания дисперсной фазы, общую степень очистки и число гидроциклонов в каскаде для заданной степени очистки. Приведены графики и уравнения профилей скоростей осевого и окружного движения в гидроциклоне ГНС-100 и доли уловленных частиц по фракциям в сравнении с плотностью распределения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидроциклон, локальная степень улавливания, плотность распределения частиц, дисперсная среда.

The calculation procedure for hydrocyclones operating in the streamline conditions with the high-dispersion medium, which allows determining the local degree of the recovery of the dispersed phase, the overall degree of purification and the number of hydrocyclones in the cascade for the given degree of purification is established. Graphs and equations of velocity profiles in the axial and circumferential motion in a hydrocyclone GNS-100 and the proportion of trapped particle fractions in comparison with the density distribution is described.

К e y w o r d s: hydrocyclone, local degree of the recovery, density of distribution of particles, dispersion medium.

Обычно циклоны и гидроциклоны используют в батарее, т.е. при параллельном их объединении с равномерным распределением общего расхода на все аппараты. Для маловязких жидкостей режим движения в каждом аппарате обычно является турбулентным и профиль окружной скорости, отвечающий за фактор разделения и скорость центробежного осаждения дисперсной фазы, близок по структуре потока к идеальному вытеснению.

Высоковязкие жидкие дисперсные системы типа нефтешламов движутся в гидроциклонах в ламинарном режиме, профиль скоростей которых описывается уравнением [1]:

$$W = 2W_C \frac{\left[1 - (r/R_H)^2 + \frac{1 - (R_B/R_H)^2}{\ln(R_B/R_H)} \ln r/R_H \right]}{\left[1 + \left(\frac{R_B}{R_H} \right)^2 - \frac{1 - (R_B/R_H)^2}{\ln(R_H/R_B)} \right]}, \quad (1)$$

где $W_C = \frac{qv}{\pi(R_H^2 - R_B^2)}$ — средняя скорость в осевом движении.

Аналогично можно вывести уравнение профиля скорости для окружного движения

$$V = \frac{V_C (R_H - R_B) \left[\ln(r/R_H) + \frac{\ln(R_H/R_B)}{\left(\frac{1}{R_B^2} - \frac{1}{R_H^2} \right)} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_H^2} \right) \right] r}{\left\{ \frac{[\ln(R_H/R_B)]^2}{\frac{1}{R_B^2} - \frac{1}{R_H^2}} - \frac{R_H^2 - R_B^2}{4} \right\}}, \quad (2)$$

где $V_C = 3,15 V_{\text{вх}} (R_B/R_H) \left(\frac{r_H}{2l} \right)^{0,32}$ — средняя скорость в окружном движении [2].

Графики профилей скоростей осевого и окружного движения в гидроциклоне ГНС-100 приведены на рис. 1, а исходные и справочные данные — в таблице.

Как видно из расчетных параметров таблицы, осевое и окружное течение жидкости ламинарное, то же можно сказать о центробежном осаждении частиц даже самой крупной фракции дисперсной фазы $d = 350$ мк.

Поэтому локальная скорость центробежного осаждения частиц на произвольной траектории радиуса r определяется по закону Стокса

$$V_{\text{ц.о}} = \left(\frac{V^2}{r} \right) \frac{d_{\text{ч}} (\rho_{\text{ч}} - \rho)}{18\mu}. \quad (3)$$

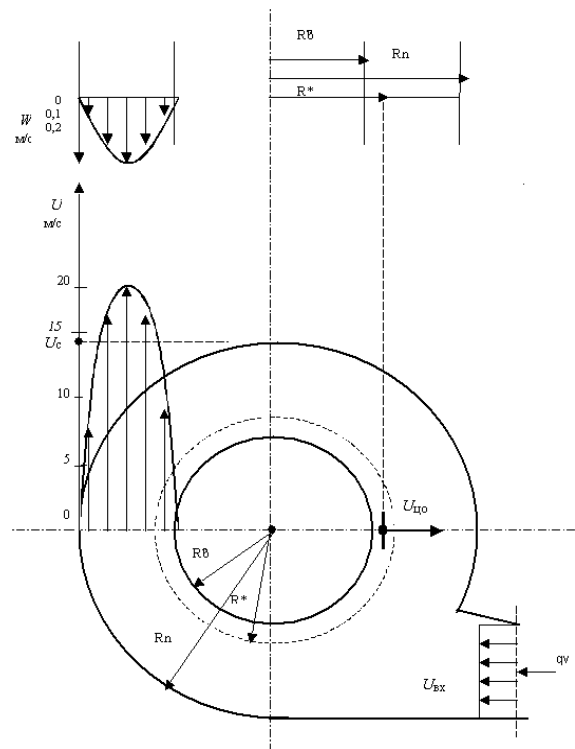


Рис. 1. Профили скоростей осевого W и окружного U ламинарного течения жидкости в гидроциклоне

Т а б л и ц а 1

Исходные и справочные данные и расчетные параметры гидроциклона ГНС-100 [2]

№	Наименование	Размер- ность	Обозна- чение	Величина
Исходные и справочные данные				
1	Производительность по жидкости	м ³ /ч	q_v	5
2	Плотность жидкости	кг/м ³	ρ	900
3	Вязкость жидкости	Пас	μ	1
4	Плотность частиц дисперсной фазы	кг/м ³	$\rho_{\text{ч}}$	2000
5	Радиус стенки гидроциклона	м	$R_{\text{н}}$	0,05
6	Радиус сливного патрубка	м	$R_{\text{в}}$	0,02
7	Радиус питающего патрубка	м	$R_{\text{п}}$	0,006
8	Длина активной зоны	м	l	0,9
Расчетные параметры				
1	Средняя скорость в осевом движении	м/с	$W_{\text{с}}$	0,2106
2	Средняя скорость во входном патрубке	м/с	$V_{\text{вх}}$	31,5
3	Средняя скорость в окружном движении	м/с	$V_{\text{с}}$	14,753
4	Среднее время пребывания жидкости	с	$t_{\text{с}}$	4,273
5	Объем активной зоны гидроциклона	м ³	$V_{\text{ак}}$	$5,934 \times 10^{-4}$
6	Число Рейнольдса для осевого течения	—	Re_{w}	11,37
7	Число Рейнольдса для окружного течения	—	Re_{v}	796,7
8	Число Рейнольдса для частиц самой крупной фракции $d_0=350$ мк для скорости центробежно-го осаждения	—	$Re_{\text{к}}$	0,0312
9	Фактор разделения	—	Φ	370
10	Наибольший размер частиц, улавливаемых в гидроциклоне на 100 %	мк	d_0	380

Из основного условия улавливания частиц (время пребывания равно времени осаждения $t = t_{\text{ос}}$) можно определить наибольший размер частиц d_0 , улавливаемых с самой неблагоприятной траектории $r = R_B$, когда путь осаждения $(R_H - R_B)$ наибольший.

Так как среднее время пребывания частиц в гидроциклоне $t = \frac{\pi(R_H^2 - R_B^2)L}{qv}$, а время осаждения $t_{\text{ос}} = \int_{R_B}^{R_H} \frac{dr}{v_{\text{ц.с}}}$, то, приравнявая правые части последних двух формул с учетом уравнений (2) и (3) после расчетов на ЭВМ, получаем $d_0 = 380$ мк.

Таким образом, частицы с размером фракций d_0 и выше будут улавливаться на 100 %. Частицы меньше эквивалентного диаметра d_0 будут улавливаться с траектории $R_H > R_B$.

Для траектории R_H время пребывания можно рассчитать по формуле

$$t = \frac{\pi(R_H^2 - R_B^2)L}{2\pi \int_{R_B}^{R_H} r W dr},$$

а время осаждения — по уравнению

$$t_{\text{ос}} = \int_{R_B}^{R_H} \frac{dr}{V_{\text{ц.о}}},$$

или, с учетом уравнения (3), приравнявая правые части последних двух уравнений, получаем после алгебраических преобразований

$$d_{\text{ч}} = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_{\text{ч}} - \rho)(R_H^2 - R_B^2)L \int_{R_B}^{R_H} \frac{rdr}{\sqrt{2}} \int_{R_B}^{R_H} rWdr}}. \quad (4)$$

Так как частицы любой фракции на входе в гидроциклон равномерно распределены по сечению между крайними траекториями $(R_H - R_B)$, то отношение [3]

$$x = \frac{R_H - R^2}{R_H - R_B} \quad (5)$$

описывает вероятность улавливания частиц диаметра $d_{\text{ч}}$, рассчитанных по уравнению (4).

На рис. 2 приведен график зависимости локальной степени улавливания x частиц от их диаметра $d_{\text{ч}}$, рассчитанный по уравнениям (4) и (5).

Зная степень улавливания частиц каждой фракции в суспензии или эмульсии, можно определить долю уловленных частиц каждой фракции, исходя из плотности распределения этих частиц в исходной дисперсной среде:

$$C_{y(i)} = C_{(i)}x(i). \quad (6)$$

Тогда общая степень очистки в гидроциклоне составит

$$\eta = \sum_{i=1}^n C_{y(i)},$$

где n — число фракций.

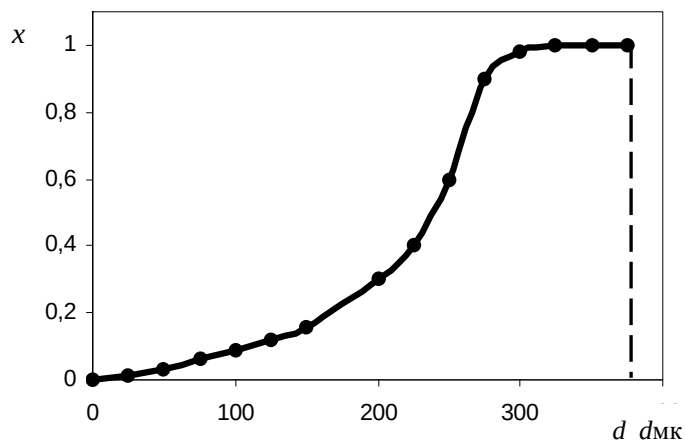


Рис. 2. Зависимость локальной степени улавливания частиц от их диаметра

На рис. 3 приведены графики плотности распределения в исходной дисперсной системе и доли уловленных частиц пофракционно, рассчитанные по уравнению (6) на основании формул (4) и (5) (кривые 1 и 2).

Как видно из графика на рис. 3, в одном гидроциклоне для рассматриваемого случая ламинарного движения высоковязкой дисперсной среды степень очистки составляет чуть более 50 %. Поэтому для достижения большей степени очистки можно очищенную жидкость после первого гидроциклона направить во второй, который будет работать с частицами фракционного состава, имеющими уже относительные доли на входе

$$C_{2(i)} = C_{(i)} - C_{y(i)} = C_{(i)}[1 - x_i].$$

Тогда

$$C_{y2(i)} = C_{2(i)} \cdot x_{(i)},$$

или с учетом вышезаписанного выражения

$$C_{2(i)} = C_{(i)} \cdot C_{(i)} = C_{(i)}[1 - x_i].$$

Для третьего гидроциклона получаем

$$C_{3(i)} = C_{(i)} - \{1 - x_{(i)}[1 - x_{(i)}]\}.$$

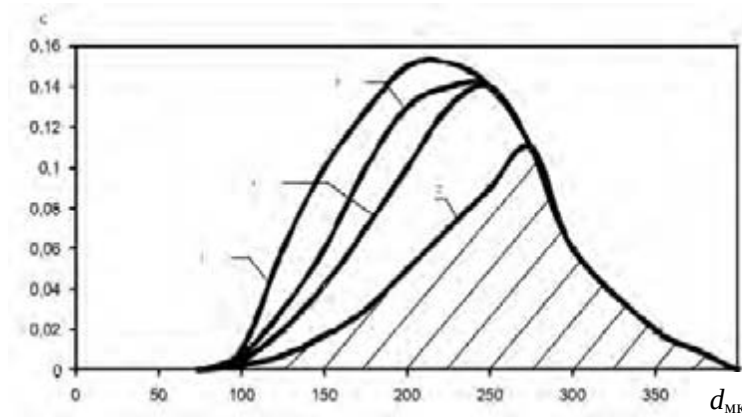


Рис. 3. Плотность распределения частиц в исходной жидкости (1), доля уловленных частиц в одном гидроциклоне (2) и в каскаде гидроциклонов (3) и 6 гидроциклонов (4) (заштрихована область уловленных частиц для одного гидроциклона со степенью очистки $\eta=0,5$ (5))

На рис. 4 приведен график зависимости степени очистки от числа гидроциклонов в каскаде (для наглядности условно показан непрерывной линией), рассчитанный по последним уравнениям. Как видно из этого графика, для достижения степени очистки $x = 0,8$ необходимо установить 4 гидроциклона в каскаде, а для $x = 0,9$ — 6 гидроциклонов (отстойник обеспечит такую степень очистки, имея поверхность 88 м^2).

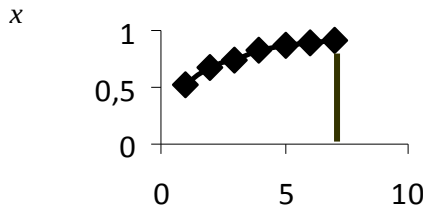


Рис. 4. Зависимость степени очистки от числа гидроциклонов в каскаде

Таким образом, предлагаемая методика расчета для гидроциклонов, работающих в ламинарном режиме с высоковязкой дисперсионной средой, позволяет опре-

делять локальную степень улавливания частиц или капель каждой фракции и общую степень очистки, а также число гидроциклонов в каскаде (т.е. установленных последовательно) для заданной степени очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Химия, 1974. 288 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 884 с.
3. Голованчиков А.Б., Симонов Б.В. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии. Ч. 2. Волгоград : ИПК «Царицын», 1995. 121 с.
1. Romanov P.G., Kurochkina M.I. Gidromekhanicheskiye protsessy khimicheskoy tekhnologii. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Khimiya, 1974. 288 s.
2. Timonin A.S. Inzhenerno-ekologicheskiy spravochnik. T. 2. Kaluga : Izd-vo N. Bochkaryovoy, 2003. 884 s.
3. Golovanchikov A.B., Simonov B.V. Primeneniye EVM v khimicheskoy tekhnologii i ekologii. Ch. 2. Volgograd : IPK "Tsaritsyn", 1995. 121 s.

© Голованчиков А.Б., Первакова Г.И., Бацокин И.С., 2010

Поступила в редакцию в декабре 2010 г.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА

УДК 628.1

М.А. Шубин, А.М. Шубин

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОЙ ПЕРЕБРОСКИ ЧАСТИ СТОКА СЕВЕРНЫХ РЕК НА ЮГ

Обсуждается проблема переброски части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию — одного из самых грандиозных несостоявшихся инженерных и строительных проектов XX в., нереализованного по причинам гигантского объема строительства системы каналов и водохранилищ, огромных финансовых и материальных затрат и катастрофических экологических последствий реализации проекта. Подчеркивается обострение с каждым годом проблемы нехватки питьевой воды в южных регионах и необходимость ее решения. В качестве одного из путей решения предложена транспортировка избыточной части стока северных рек на юг по трубам большого диаметра.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сибирские реки, Казахстан, Средняя Азия, речной сток, транспортировка, трубы.

The diversion of the part flow Siberian Rivers in Kazakhstan and Central Asia is discussed, which is one of the most ambitious failures of engineering and construction projects of the XX century. The project was not implemented because of huge volume of the construction of channeling and reservoirs, huge financial and material costs and catastrophic ecological implementation of the project implications. The problem of the shortage of drinking water in the southern regions escalates each year and must be addressed. The one issue is offered to the transport the surplus flow part of the northern rivers to the south for the large diameter pipes, which requires the technical and economic assessments.

K e y w o r d s: Siberian Rivers, Kazakhstan, Central Asia, river runoff, transportation, pipes, technical and economic assessments.

Проект переброски части стока северных рек в Казахстан и Среднюю Азию был разработан Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР и предусматривал направление части стока северных рек (Печоры, Иртыша, Оби и других) в южные регионы страны, остро нуждающиеся в пресной воде. Намечалось грандиозное строительство системы каналов и водохранилищ с целью транспортировки воды в Курганскую, Челябинскую и Омскую области России для орошения и водоснабжения населенных пунктов, восстановления Аральского моря и подъема уровня Каспийского моря. Кроме того, предусматривалась подача пресной воды в Казахстан, Узбекистан и Туркмению с целью орошения. В качестве основного объекта проектировался канал Сибирь — Средняя Азия из Оби через Казахстан на юг в Узбекистан. Канал должен был быть судоходным длиной 2550 км, шириной 130—300 м, глубиной 15 м и расходом воды 1150 м³/с. Предварительная стоимость проекта по явно заниженным данным Минводхоза равнялась 32,8 млрд р., в то время как по самым приблизительным расчетам экс-

пертов сооружение канала не могло обойтись менее чем в 100 млрд р. Против реализации проекта резко выступила научная и творческая интеллигенция: появились многочисленные публикации в прессе, авторы которых обосновывали несостоятельность проекта, в первую очередь с экологической точки зрения [4]. Академией наук СССР были подготовлены отрицательные экспертные заключения, выявившие крупные ошибки в проектировании объектов переброски и прогнозировании ее последствий. Учитывая реакцию общества, а главное нарастающий экономический кризис в СССР и отсутствие возможности финансировать проект, в 1986 г. было решено прекратить его разработку.

Тем не менее, проблема нехватки питьевой воды в южных регионах не только не стабилизировалась, но крайне обострилась в последние годы. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения более двух миллиардов человек страдает от нехватки питьевой воды, а к 2015 г. их количество возрастет вдвое. Пресная вода превратилась в крайне дефицитный и притом недешевый природный ресурс, практически сравнявшись по цене с нефтью, а в отдельных странах (Объединенные Арабские Эмираты, Ирак) и превысив ее. Недостаток воды порождает целый комплекс экономических, социальных и политических проблем, способных подорвать стабильность в мире и привести к крупным региональным конфликтам.

Понимание исключительной важности проблемы и возможности получения крупных политических и экономических дивидендов обусловило недавнее возвращение к идее поворота северных рек на юг, прозвучавшее, в частности, в книге бывшего мэра Москвы Ю. Лужкова «Вода и мир». К сожалению, непонимание автором всего комплекса проблем, связанных с реализацией этой идеи, привело к простой реанимации справедливо осужденного ранее проекта Минводхоза и ничего, кроме негативной реакции экспертов и научной общественности, не вызвало. Тем не менее, необходимость вновь рассмотреть вопрос о переброске части стока северных рек в Центральную Азию была высказана президентами Узбекистана И. Каримовым и Казахстана Н. Назарбаевым. При этом, если озабоченность властей Узбекистана вполне понятна в связи с отсутствием надежных источников водоснабжения, то наличие в Казахстане канала Иртыш — Караганда и ряда водохранилищ на Иртыше и его притоках (крупное Бухтарминское, Усть-Каменnogорское, Шульбинское), Ишиме (Сергеевское, Петропавловское), Тоболе (Каратамарское, Верхнетобольское, Джилкаурское), отбирающих до 60 % годового речного стока [1], требует, очевидно, новых подходов к перераспределению водных ресурсов в республике.

Разумеется, важную роль в сокращении дефицита пресной воды могло бы сыграть рациональное использование водных ресурсов: сокращение водопотребления в сельском хозяйстве, применение водосберегающих технологий в промышленности, экономия потребления воды населением. Значительный прогресс в развитии водосберегающих технологий достигнут в развитых странах Европы, где существуют соглашения об использовании водных и энергетических ресурсов в бассейнах рек, предусматривающие переход к модели эффективной технологической системы водопользования, экономического механизма межгосударственного регулирования использования водных ресурсов, проведении мероприятий в области защиты окружающей среды и водных объектов.

Подобные соглашения на взаимовыгодной основе могут позволить России и странам Центральной Азии выработать механизм адекватного распределения водных ресурсов и при необходимости найти альтернативные источники водоснабжения. Учитывая максимальное расходование воды для целей ирригации, следует обеспечить сокращение поливной площади орошаемых земель и внедрение капельного орошения. При этом необходимо максимально сократить ирригационную сеть в виде открытых каналов, особенно не имеющих противофильтрационной защиты (тоже зачастую мало эффективной) и обеспечить подачу воды по трубам. Это становится особенно актуальным, учитывая катастрофическую засуху в России в 2010 г., оценивая последствия которой, Президент РФ Д.А. Медведев заявил о необходимости восстановления разрушенной системы мелиорации в нашей стране. Также им была отмечена возможность вернуться к обсуждению различных вариантов решения проблемы засухи и обеспечения питьевой водой всего Центрально-Азиатского региона.

Одним из таких вариантов, по нашему мнению, могла бы стать транспортировка незначительной части стока северных рек на юг по трубам большого диаметра путем создания магистральных водопроводов. Вода стала практически таким же ценным товаром, как нефть, и ни у кого не вызывает сомнений необходимость строительства крупных и весьма протяженных нефтепроводов, затраты на сооружение которых окупаются достаточно быстро. При этом необходимо принимать во внимание и то, что вода, в отличие от нефти, является возобновляемым природным ресурсом. Транспортировка воды в трубопроводах исключит важнейшие экологические проблемы, возникающие при строительстве каналов:

- затопление водохранилищами сельскохозяйственных земель и лесных угодий;

- потери воды на фильтрацию и испарение из каналов;

- подъем уровня грунтовых вод, подтопление, заболачивание и засоление прилегающих территорий;

- нарушение традиционных путей миграции животных и их местообитаний.

Север России является одним из богатейших природными водными ресурсами регионов мира (рис.).

Годовой сток основных речных бассейнов северных рек представлен в табл. 1 [2].

Следует отметить, что речной сток по многим бассейнам этих рек в немалой степени зарегулирован путем создания водохранилищ. Общие характеристики водохранилищ по основным бассейнам рек приведены в табл. 2 [2].

При этом следует обратить внимание на крайне низкие показатели использования воды на хозяйственно-питьевые, промышленные, сельскохозяйственные и прочие нужды. Рассмотрим характеристики водных ресурсов и общие показатели их использования в Обь-Иртышском бассейне (табл. 3).

Приведенные данные показывают возможные перспективы использования незначительной части поверхностного стока северных рек для водоснабжения засушливых южных регионов. Разумеется, ни о каком «повороте рек» и строительстве гигантских каналов не может быть и речи. Подобные проекты показали свою полную несостоятельность и не должны быть реанимированы. В то же время огромный опыт российских специалистов в сооружении

крупных магистральных продуктопроводов вполне может использоваться и для подачи воды с севера на юг с обеспеченной рентабельностью и экологической безопасностью.



Рис. 1. Карта речного стока России

Т а б л и ц а 1

Годовой сток речных бассейнов

Река	Площадь водосбора, тыс. км ²	Место впадения	Средний многолетний годовой сток в устье, км ³
Северная Двина	357	Белое море	109
Вычегда	121	Северная Двина	36,6
Печора	322	Баренцево море	130
Обь	2990	Обская губа	400
Чулым	134	Обь	24,8
Иртыш	1643	Обь	89,3
Ишим	177	Иртыш	2,16
Енисей	2580	Карское море	630
Таз	150	Карское море	45,7

Т а б л и ц а 2

Показатели регулирования стока по бассейнам рек

Бассейн реки	Количество водохранилищ	Площадь зеркала, тыс. км ²	Полный объем, км ³	Полезный объем, км ³
Северная Двина	5	0,66	1,76	1,42
Печора	4	0,01	0,06	0,02
Обь, в т.ч.:	268	2,45	13,99	8,48
Иртыш	173	1,1	3,88	2,9
Енисей	53	12,37	358,85	114,67

Т а б л и ц а 3

Водные ресурсы и их использование в Обь-Иртышском бассейне [8]

Субъекты РФ	Средний объем годового притока, км ³	Сток в пределах территории, км ³	Сток за пределами территории, км ³	Использовано воды, км ³
Алтайский край и Республика Алтай	0,94	48,9	49,8	0,663
Новосибирская область	51	8,1	59,1	0,837
Кемеровская область	2,9	37,4	40,3	2,057
Томская область	113	72,2	185	0,143
Тюменская область	249	141	390	1,376
Омская область	32,5	6,3	38,8	0,382
Курганская область	2,45	1	3,45	0,117
Свердловская область	—	22	22	1,332
Челябинская область	—	2,2	2,2	0,603
Всего	—	390	390	7,510

Проведем несложные технико-экономические расчеты. К примеру, расход реки Печоры составляет 127 км³/год, используется на хозяйственные нужды 500 млн м³/год, т.е. менее 0,5 % годового объема стока, при этом существующие потери воды только при ее транспортировке составляют около 100 млн м³/год [1]. В случае строительства магистрального водопровода диаметром 1220 мм даже при минимальном расходе воды в трубе 1000 л/с можно получить порядка 32 млн м³, или 200 млн баррелей, свежей воды в год. В этом случае отбор воды составит всего 0,03 % от годового расхода реки. Если же в качестве примера привести реку Обь, годовой расход которой составляет 400 км³/год, то сооружение одной такой нитки водопровода приведет к отбору менее 0,01 % ее годового стока и, конечно, не будет иметь заметных экологических последствий. В то же время, при доведении воды до питьевых кондиций при цене ее порядка 50 дол. за баррель стоимость подаваемой по одному трубопроводу воды может составить 10 млрд дол. в год. Не исключено, что подобный проект мог бы заинтересовать ряд стран Центральной Азии и Ближнего Востока, богатых углеводородами, но испытывающих острый дефицит водных ресурсов.

Разумеется, необходимо правильно оценить экономические и экологические риски при возможной реализации такого проекта, для чего следует выполнить его тщательное технико-экономическое обоснование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Россия: речные бассейны / А.М. Черняев, Н.Б. Прохорова, М.А. Шубин и др. // Аэрокосмоэкология. Екатеринбург, 1999. 520 с.
2. Россия: водно-ресурсный потенциал / А.М. Черняев, Н.Б. Прохорова и др. // Аэрокосмоэкология. Екатеринбург, 1998. 342 с.
1. Russia: rechnyye basseyny / A.M. Chernyayev, N.B. Prohorova, M.A. Shubin i dr. // Aerocosmoecologiya. Ekaterinburg, 1999. 520 s.
2. Russia: vodno-resursnyy potentsial / A.M. Chernyayev, N.B. Prohorova i dr. // Aerocosmoecologiya. Ekaterinburg, 1998. 342 s.

© Шубин М.А., Шубин А.М., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

УДК 551.435.162(282.247.363.6)

Д.В. Латенко

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОВРАГОВ ПОБЕРЕЖЬЯ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Приведены данные, характеризующие развитие процессов линейной эрозии на побережье Цимлянского водохранилища, и материалы по особенностям морфологии и морфометрии различных категорий оврагов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Цимлянское водохранилище, эрозия, овраги.

Data characterizing the development of processes of the linear erosion at the coast of Tsimlyanskoye reservoir and materials on e specific features of morphology and morphometry of various categories of ravines are represented.

K e y w o r d s: Tsimlyanskoye reservoir, erosion, ravines.

Среди факторов, определяющих целесообразность проведения конкретных мероприятий, направленных на предотвращение заиления водохранилищ закреплением оврагов и введением в хозяйственное и рекреационное использование нарушенных ими земель, важное место занимают морфологические и морфометрические показатели линейных эрозионных образований. Форма и размер оврагов оказывают влияние на их фиторастиельные условия [1, 2]. С увеличением размеров оврагов в различной степени возрастают объемы работ по их мелиорации. Морфологические показатели определяют целесообразность применения конкретного метода их рекультивации [3].

На побережье Цимлянского водохранилища морфометрические и морфологические показатели определяли у растущих оврагов, относящихся по модифицированной нами классификации С.С. Соболева [4] ко II, III и IV стадиям (далее — ст.) развития. Основное отличие предложенной нами классификации состоит в том, что к III ст. развития наряду с откосами с устойчивой осыпью только в нижней их части относили откосы, ранее имевшие задернелую осыпь по всему профилю, но подвергшуюся в последнее время интенсивным эрозионным процессам (ст. IIIa).

Исследования проводили в геоморфологических районах [5]: Восточно-Донская денудационно-тектоническая гряда; аккумулятивная возвышенность Северных Ергеней; долина Дона.

При проработке картографического материала по степени выраженности рельефа и интенсивности развития процессов линейной эрозии нами были выделены ключевые участки: в геоморфологическом районе Волго-Донской денудационно-тектонической гряды — Пятиизбянский, Голубинский и Трехостровской с коэффициентами расчленения соответственно 0,5...1; 1,5...2; 2...2,5 км/км²; в районе Аккумулятивной возвышенности Северных Ергеней — Ильменский с коэффициентом расчленения 0,1...0,5, км/км²; в районе долины Дона — Молокановский и Грушовский с коэффициентами расчленения соответственно 0,1...0,5; 0,5...1 км/км².

В результате обследования 52 овражных систем было выявлено преобладание вторичных оврагов, развитие которых происходит по дну существую-

щих ложбин, лощин и суходолов. Доля участков растущих оврагов II ст. развития (врезании висячего оврага вершиной) в их общей протяженности мала и колеблется в разных геоморфологических районах в пределах: Восточно-Донская денудационно-тектоническая гряда — от 1 до 5,6 %; аккумулятивная возвышенность Северных Ергеней — 2,1 %; в долине Дона она равна 1,7 %. Участки III ст. развития (выработки профиля равновесия) составляют: в Восточно-Донской денудационно-тектонической гряде — от 6,5 до 12,6 %; в аккумулятивной возвышенности Северных Ергеней — 5,2 %; в долине Дона — 2,6 % длины растущих оврагов (табл. 1).

Большая часть откосов оврагов, подлежащих мелиорации для дальнейшего хозяйственного и рекреационного использования, имеет III и IV ст. развития, характеризующиеся затуханием эрозионных процессов. Откосы IV ст. имеют прямую форму, сформировавшуюся устойчивую задернелую осыпь, в некоторой степени подмываемую лишь в годы особенно интенсивного снеготаяния, когда и происходит основной рост оврагов. Значительная часть подлежащих закреплению и мелиорации оврагов находится в III ст. развития. Доля откосов III ст. развития в их общей протяженности, как теневых, так и инсолируемых экспозиций, составляет в среднем 23,9 %, причем в правобережной части водохранилища она в среднем на 70,5 % выше, чем в левобережной, что свидетельствует о значительно большей интенсивности процессов линейной эрозии на правом берегу Дона.

Откосы II ст. развития с начинающимся формированием неустойчивой естественности крутизной 30...35° около обрывов в верхней их части в исследуемом регионе распространены у оврагов II — начала III ст. развития. Доля их колеблется: в Восточно-Донской денудационно-тектонической гряде от 0,6 до 11,2 %; аккумулятивной возвышенности Северных Ергеней — от 20,2 до 20,5 %; на коренных берегах долины Дона — 10,1 %. Участки III ст. развития (выработки профиля равновесия) составляют: в Восточно-Донской денудационно-тектонической гряде — от 13,2 до 32,5 %; на аккумулятивной возвышенности Северных Ергеней — 2,1%; в долине Дона — 49,1 %, возрастающая в правобережной части зоны исследований, особенно на инсолируемых склонах. Рост оврагов, имеющих эти откосы, происходит за счет подмыва осыпи, а в многоводные годы, кроме того, и размыва русла.

Откосы I ст. развития, представляющие собой обрывы практически без осыпи у подножья, встречаются только в непосредственной близости от вершинного перепада оврагов II ст. и составляют 5,9 % протяженности растущих оврагов.

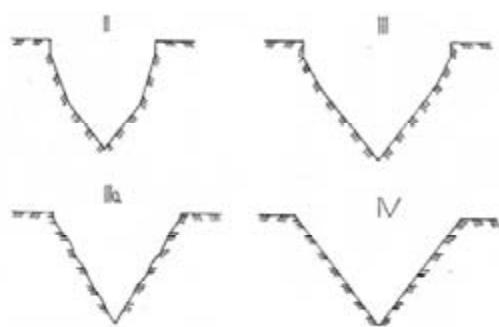
Откосы IV ст. развития приурочены к участкам оврагов с практически прекратившимся ростом, а также встречаются в местах искривления русел водотоков, небольшими участками среди откосов III ст. развития с неподмываемой стороны и в общей сложности составляют 63,6 % площади оврагов.

В целом при движении от вершины к устью оврагов наблюдается постепенный переход от I ст. развития откосов ко II, III и IV, однако на определенных участках эта закономерность нарушается. В местах меандрирования русла откосы оврагов, подмываемые центробежной силой водного потока, обычно имеют менее развитую стадию развития по сравнению с окружающими участками, а противоположные — более зрелую. Схема оврагов с откосами II, III, IIIa и IV ст. представлена на рис.

Т а б л и ц а 1
Основные показатели подлежащих закреплению и мелиорации оврагов

Название ключевого участка	Протяжен- ность об- следован- ных участ- ков, м	Распределение оврагов по стадиям развития, %				Средневзвешенная глу- бина оврагов по стадиям развития, м				Распределение откосов оврагов по стадиям развития, %			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
		1. Геоморфологический район Восточно-Донская денудационно-тектоническая гряда											
Пятизбынский	2060	9,2	1,0	12,6	74,2	1,0	2,5	9,2	11,8	0,5	5,9	55,7	37,9
Голубинский	7620	0	0,7	3,4	95,9	—	7,5	8,6	7,6	0	2,2	57,6	40,2
Трехостровской	4783	0	5,6	6,5	87,9	—	5,0	9,6	9,8	5,1	11,2	70,2	13,5
Среднее по геоморфологиче- скому р-ну		3,1	2,4	7,5	86,0	0,3	5,0	9,1	9,7	1,9	6,4	61,2	30,5
2. Геоморфологический район аккумулятивная возвышенность Северных Ергеней													
Ильменский	2880	0	2,1	5,2	92,7	—	8,3	3	4,1	20,4	20,5	32,1	27,0
Среднее по геоморфологиче- скому р-ну		0	2,1	5,2	92,7	—	8,3	3	4,1	20,4	20,5	32,1	27,0
3. Геоморфологический район долина Дона (коренные берега)													
Грушовский	2980	0	1,7	39,1	59,2	—	6,0	6,0	9,1	0	10,1	69,1	20,8
Молокановский	1095	0	0	0	100	—	—	—	3,4	0	0	0	100
Среднее по геоморфологиче- скому р-ну		0	0,9	19,6	79,6	—	3,0	3,0	6,3	0	5,1	34,6	60,4

П р и м е ч а н и е. Числитель — откосы инсолируемых экспозиций, знаменатель — откосы теневых экспозиций.



Поперечные профили оврагов различных стадий развития побережья Цимлянского водохранилища

Из рисунка видно, что в нижней части растущих оврагов располагается естественная осыпь, имеющая крутизну угла естественного равновесия $30...35^\circ$. В месте перехода осыпи в обнажения материнской породы наблюдается перелом линии до крутизны $45...60^\circ$, в верхней части откоса (0,6...1,0 м) почвогрунт обычно скреплен корнями травянистых растений и крутизна здесь составляет $75...85^\circ$. Овраги, в которых эрозионно-аккумулятивные процессы достигли стадии равновесия, имеют прямые откосы крутизной $30...35^\circ$ в суглинистых и глинистых грунтах и $25...30^\circ$ в супесчаных.

Анализ распространенности оврагов различной величины свидетельствует о том, что большинство из них имеет среднюю глубину от 2 до 9 м (69,8 %), причем наиболее представительной является начальная ступень 2...5 м (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Распределение по глубине оврагов побережья Цимлянского водохранилища

Геоморфологический район	Показатель	Глубина оврагов, м				
		2...5	5...7	7...9	9...11	> 11
Восточно-Донская денудационно-тектоническая гряда	Протяженность, м	2850	2070	4283	2170	3090
	% от общ. протяж.	19,7	14,3	29,6	15,0	21,4
Аккумулятивная возвышенность Северных Ергей	Протяженность, м	1920	530	70	360	0
	% от общ. протяж.	66,7	18,4	2,4	12,5	0
Долина Дона	Протяженность, м	1775	845	600	420	435
	% от общ. протяж.	43,6	20,7	14,7	10,3	10,7
Итого по трем районам	Протяженность, м	6545	3445	4953	2950	3525
	% от общ. протяж.	43,3	17,8	15,6	12,6	10,7

Средневзвешенная глубина оврагов зоны исследований равна 7,2 м, в том числе в правобережной ее части — 7,9 м, в левобережье — 5,1 м. С увеличением степени расчлененности она уменьшается. Так, в геоморфологическом районе Восточно-Донской денудационно-тектонической гряды на ключевом участке Пятиизбянский со степенью расчленения $0,5...1,0 \text{ км/км}^2$ средневзвешенная глубина оврагов оказалась равной 7,1 м, на Голубинском участке с расчленением $1,5...2,0 \text{ км/км}^2$ — 6,8 м, на Трехостровском с расчлененностью овражно-балочной сетью $2,0...2,5 \text{ км/км}^2$ — 9,0 м.

В геоморфологическом районе аккумулятивная возвышенность Северных Ергей при степени расчленения $0,1...0,5 \text{ км/км}^2$ несколько большая средняя величина (4,9 м) отмечена на Ильменском ключевом участке, где материнские породы представлены в основном легкими суглинками. Средневзвешенная глубина оврагов долины Дона на ключевом участке Молокановский со степенью расчленения $0,1...0,5 \text{ км/км}^2$ равна 3,5 м, а на Грушовском участке с расчленением $0,5...1,0 \text{ км/км}^2$ — 7,2 м.

Выводы. 1. Большая часть активных оврагов имеет относительно зрелую III ст. развития (выработки профиля равновесия русла), свидетельствующую о затухании процессов их роста и целесообразности вовлечения в рекреационное и хозяйственное использование.

2. Значительная часть участков оврагов побережья Цимлянского водохранилища достигла IV ст. развития, характеризующейся очень слабым развитием русловых эрозионных процессов, и выполняют в основном функции транзита продуктов эрозии в водоем. Их откосы имеют близкую к прямой форму, крутизну $30...35^\circ$, что обуславливает возможность применения традиционных механизированных способов подготовки к фитомелиорации.

3. В последнее время имеет место активизация эрозионных процессов на откосах, достигающих и даже достигших угла естественного равновесия, вызывающая безотлагательность выполнения рекультивационных работ.

4. У растущих оврагов преобладают откосы вогнутой формы, имеющие в нижней части устойчивую осыпь, мощность которой резко меняется в местах меандрирования русла: уменьшается со стороны, подмываемой центробежной силой водного потока, и увеличивается с противоположной, что сильно затрудняет механизированную нарезку террас и обуславливает целесообразность применения технологий подготовки оврагов к фитомелиорации отсыпкой и выполаживанием откосов.

5. Глубина большей части подлежащих мелиорации оврагов колеблется в пределах $4,5...7,9 \text{ м}$, имея средневзвешенную величину 7,2 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопин В.Н., Рулев А.С. Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья. Волгоград, 2007. 168 с.
2. Сус Н.И. Эрозия почв и лесомелиорация в борьбе с ней // Агролесомелиорация : сб. науч. тр. М., 1972. С. 143—199.
3. Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М., 1981. 199 с.
4. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними : в 2-х т. Т. 2. М. : Л., 1960. 284 с.
5. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. Почвы Волгоградской области. Волгоград, 1970. 320 с.
1. Anopin V.N., Rulyov A.S. Cartografirovaniye degradirovannykh landshaftov Nizhnego Povolzhya. Volgograd, 2007. 168 s.
2. Sys N.I. Erosiya pochv i lesomelioratsiya v bor'be s ney // Agrolesomelioratsiya : sb. nauch. tr. M., 1972. S. 143—199.
3. Rozhkov A.G. Bor'ba s ovragami. M., 1981. 199 s.
4. Sobolev S.S. Razvitiye erosionnykh protsessov na territorii evropeyskoy chasti SSSR i bor'ba s nimi : v 2-kh t. T. 2. M. : L., 1960. 284 s.
5. Degtyareva E.T., Gulidova A.N. Pochvy Volgogradskoy oblasti. Volgograd, 1970. 320 s.

© Латенко Д.В., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

УДК 502.5 : 519.816 : 625.7/.8

Б.Х. Санжапов, Н.П. Садовникова

СОГЛАСОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ ПРИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК, ВХОДЯЩИХ В СИСТЕМУ СРЕДСТВ, В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследована возможность применения метода нечетких множеств и теории возможностей для оценки качества проектов градостроительной деятельности. Рассмотренный подход может быть использован для определения эффективности инвестиций в строительство с учетом экологической безопасности и социальной значимости.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая безопасность, системы поддержки принятия решений, нечеткие множества, теория возможностей, экспертная оценка, сложная система, математические модели, градостроительный проект, эколого-экономическое обоснование.

Fuzzy sets and theory of possibilities for estimation urban planning project quality are explored. The proposed method can be used to determine the effectiveness of the investment in the construction, taking into account environmental security and social significance.

K e y w o r d s: environmental safety, decision support systems (DSS), fuzzy sets, theory of possibilities, expert estimations, complex system, mathematical models, urban planning project, ecological and economic justification.

Достижение экологического равновесия между антропогенными системами разного уровня и природной средой является наиболее важной задачей градостроительной деятельности.

Устойчивая городская среда может быть создана только при рациональном сочетании хозяйственной деятельности с природоохранными мероприятиями. Степень экологической обоснованности проектов во многом определяется не только функциональной пригодностью, но и затратами на восстановление нарушенных природных условий.

Неопределенность в отношении структуры массива экологических данных явилась причиной отсутствия на сегодняшний день реалистичных математических моделей и методик для идентификации и оценки воздействий строительства на окружающую среду. Связано это с ярко выраженной разнородностью экологических аспектов при строительстве объектов и неоднозначностью восприятия человеком результатов этих воздействий [1].

При разработке планов развития города и анализе их реализации необходимо иметь механизм оценки принимаемых решений, с помощью которого можно прогнозировать будущие состояния городской среды.

В процессе решения этой задачи необходимо определить оптимальные требования к показателям, характеризующим степень достижения целей, и другим характеристикам системы, влияющим на ее устойчивость.

Определим перечень характеристик $X = (X_1, \dots, X_n)$ и показателей качества исследуемой системы $Q = (Q_1, \dots, Q_L)$. Функциональная связь характеристик между собой и зависимость показателей качества от характеристик — требуемые значения показателей качества $\tilde{Q} = (\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_L)$ — заданы в виде нечетких множеств $\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_L$ и предполагаются независимыми, т.е. вместо совокупности этих требований будет рассматриваться одно декартово произведение $\tilde{Q}_1 \times \dots \times \tilde{Q}_L$. Будем считать известными ограничения ресурсного типа на параметры затрачиваемых средств: финансовых, технологических, технических и др.

Под оптимальными требованиями понимается максимизирующие решение пересечения нечетких целей (показателей качества) и ограничений (возможностей) [2].

Таким образом, необходимо найти компромисс между целями проекта и возможностью реализации тех или иных значений характеристик затрачиваемых средств, учитывая нечеткий характер исходной информации.

Применение известных методов для решения поставленной задачи недостаточно эффективно, для общих методов — из-за большой размерности множества X , для частных — из-за существенных упрощений, связанных с декомпозицией системы.

Поэтому целесообразно, на наш взгляд, использовать подход, основанный на теории нечетких множеств и возможностей для обоснования требований к показателям качества и характеристикам сложной системы.

Предлагаемый подход позволит свести рассматриваемую задачу нелинейного программирования большой размерности к последовательности задач меньшей размерности при некоторых предположениях о структуре взаимосвязей между характеристиками и виде используемых функций принадлежности.

Учитывая тот факт, что в моделях систем большой размерности одновременная реализация на компьютере всех блоков, описывающих отдельные подсистемы, достаточно затруднительна, целесообразно использовать такую декомпозицию задачи, которая позволила бы производить независимо оптимизацию отдельных подсистем, а затем координировать локальные решения. Предлагаемый метод позволит учитывать такую особенность, при которой решение оптимизационной задачи подразумевает независимость функционирования отдельных блоков, а именно информация, полученная от нижележащих блоков, один раз передается снизу вверх, и после ее переработки и решения локальных оптимизационных задач формируется решение общей задачи.

Используется поэлементная декомпозиция, на основании которой решаемая координирующая задача оперирует с результатами решения локальных задач, нечеткими целями и возможностями реализации характеристик нижнего уровня.

Вводятся предположения о монотонности функций связи в системе и квазивогнутости функций принадлежности нечетких переменных.

Рассматриваемая выше исходная информация может быть использована при построении дерева целей и задач системы (ДЦЗ) [3]. Фактически функционально-взвешенный граф системы является обобщением ДЦЗ на случай, когда связи между вершинами описываются нелинейными функциями. Для описания взаимосвязей между характеристиками сложной системы определим этот граф как $G=(X, E, F)$ с множеством вершин X и множеством дуг [3]

$$E = \left\{ (X_i, X_j) \mid X_i, X_j \in X \right\}, \text{ значение } x_i \text{ характеристики } X_i \text{ зависит от значения}$$

x_j характеристики X_j как $x_i = f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_n})$, функции f_i являются монотонно (нестрого) возрастающими по каждому из своих аргументов. Здесь предполагается, что множество вершин, в которые направлены дуги из вершины X_i , есть $\Gamma_{X_i} = \{X_{i_1}, \dots, X_{i_n}\}$.

Предположим, что исходный граф не содержит контуров. Такое предположение не является ограничительным. Следовательно, все характеристики сложной системы, представленные этим графом, можно иерархически упорядочить, т.е. разбить на непересекающиеся уровни $V_1, \dots, V_M$ так, что

$$\Gamma_{X_i} = \emptyset, \forall X_i \in V_M, \Gamma^{-1}_{X_i} = \emptyset, \forall X_i \in V_1,$$

и дуги направлены из вершин, принадлежащих уровням с меньшими номерами, в вершины, принадлежащие уровням с большими номерами.

Без ограничения общности предполагается, что значения $q_1, \dots, q_L$, показателей качества $\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_L$ зависят только от значений характеристик верхнего уровня $V_1 = \{X_{k_1}, \dots, X_{k_p}\} - x_{k_1}, \dots, x_{k_p}$, т.е. $q_l = Q_l(x_{k_1}, \dots, x_{k_p})$, $l = 1, \dots, L$. Здесь предполагается, что функции Q_l являются монотонно (нестрого) возрастающими по каждому из своих аргументов.

Реализация любого проекта связана со значительными затратами: экономическими, техническими и др. Поэтому необходимо учитывать возможности реализации проекта с учетом ресурсных ограничений. Помимо учета ограничений экономического и технического характера эти ограничения позволяют описывать также условия экологической безопасности. Например, выброс вредных веществ в результате эксплуатации дороги не должен превышать допустимый уровень, в частности предельную допустимую концентрацию (ПДК).

Ограничения на значения характеристик $X_j \in V_M = (X_{j_1}, \dots, X_{j_m})$ нижнего уровня $x_{j_1}, \dots, x_{j_m}$, таким образом, должны представляться в виде

$$R_t(x_{j_1}, \dots, x_{j_m}) \leq R_t^0, t = \overline{1, T}, \quad (1)$$

или

$$R_t(x_{j_1}, \dots, x_{j_m}) \geq R_t^0, t = \overline{1, T}. \quad (2)$$

Функции R_t в левых частях неравенств (1) и (2) являются неубывающими по своим аргументам, а правые части R_t^0 — константы, характеризующие возможности реализации проекта по какому-то показателю, — представляют ограниче-

ния по данному виду ресурса или минимальное пороговое значение по фиксированному показателю.

Возможность реализации характеристик нижнего уровня моделируется в виде распределения нечетких множеств

$$\tilde{X}_j = \left\{ \left(x_j, \mu_j(x_j) \right) \right\}, x_j \in R^1, j = j_1, \dots, j_m, \quad (3)$$

Здесь $\mu_j(x_j)$ — возможность того, что характеристика X_j может принимать значение x_j .

Задача определения оптимальных требований к показателям качества и к характеристикам системы основывается на использовании принципа максимизирующего решения в задаче с нечеткими целями и нечеткими ограничениями [2], которая при учете рассмотренных выше ограничений примет вид оптимизационной задачи по переменным $X_{j_1}, \dots, X_{j_m}$:

$$\mu_{\tilde{Q}_1}(q_1) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{Q}_L}(q_L) \wedge \mu_{j_1}(x_{j_1}) \wedge \dots \wedge \mu_{j_m}(x_{j_m}) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Такая задача является нелинейной со сложной структурой ограничений. Отсутствие в некоторых случаях аналитического описания функций связи между показателями системы, а также большая размерность множества X не позволяет использовать для ее решения стандартные методы нелинейного программирования.

Задача решается при следующих предположениях о виде функций принадлежности нечетких множеств целей и возможностей их реализации. Оптимальное значение — их пересечение может определяться слева от максимальных точек (доставляющих максимальные значения функциям принадлежности их пересечения) только возможностями, а справа — нечеткими показателями качества, согласование первого типа (рис. 1, а), либо наоборот — согласование второго типа (рис. 1, б). Таким образом, это ограничение выглядит как выполнение следующего условия: для всех $l = \overline{1, L}$ имеет место выполнение неравенств

$$\mu_{\Pi Q_l}(q_l) \leq \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l) \Leftrightarrow \hat{q}_l \leq q_l \quad (\text{согласование первого типа}) \quad \text{или} \\ \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l) \leq \mu_{\Pi Q_l}(q_l) \Leftrightarrow q_l \leq \hat{q}_l \quad (\text{согласование второго типа}), \quad \hat{q}_l — \text{наибольшее из оптимальных решений задачи } \lambda_l = \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l) \wedge \mu_{\Pi Q_l}(q_l) \rightarrow \max.$$



Рис. 1. Виды согласования целей: а — согласование первого типа; б — согласование второго типа

Тем не менее сделанные предположения о связях между переменными, а также о том, что используемые функции принадлежности являются полунепрерывными сверху, т.е. их нечеткие множества являются выпуклыми, замкнутыми и ограниченными, позволяют провести поэлементную декомпозицию [3].

Предложенный подход является развитием метода С.П. Макеева и др. [3] и позволяет учесть дополнительные ограничения (1)—(2).

Метод поэлементной декомпозиции предполагает, начиная с характеристик $X_i \in V_{M-1}$, вычисление возможности $\tilde{X}_i$ в соответствии с принципом обобщения Л. Заде [2—5] на основании возможности $\tilde{X}_j$ для всех $X_j \in \Gamma_{X_i}$, при учете ограничений (1) или (2) в зависимости от постановки задачи. Предпоследний этап поэлементной декомпозиции состоит в определении возможности ΠQ_1 реализации различных показателей качества Q_1 по известным возможностям $\tilde{X}_{k_1}, \dots, \tilde{X}_{k_p}$ реализации характеристик верхнего уровня V_1 . Последний этап метода заключается в решении задачи

$$\mu_{\tilde{Q}_1}(q_1) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{Q}_L} \wedge \mu_{\Pi Q_1}(q_1) \wedge \dots \wedge \mu_{\Pi Q_L}(q_L) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где $\mu_{\Pi Q_l}$ — функции принадлежности нечетких множеств,

$$\Pi Q_l = \left\{ \left(q_l, \mu_{\Pi Q_l}(q_l) \right) \right\}, l = 1, \dots, L.$$

Следует заметить, что оптимизация в последнем этапе метода производится по переменным $x_{j_1}, \dots, x_{j_m}$ — значениям характеристик последнего уровня V_M .

В результате решения задачи (5) определяются оптимальные значения $\hat{\lambda}$, $\hat{q}_{k_1}, \dots, \hat{q}_{k_p}$, $\hat{x}_{j_1}, \dots, \hat{x}_{j_m}$, причем $\hat{\lambda} = \hat{\lambda}_1 \wedge \dots \wedge \hat{\lambda}_L$.

Как показано в [3], задачи (4) и (5) не эквивалентны даже при отсутствии ресурсных ограничений, тем не менее принятые неограничительные предположения делают эти задачи эквивалентными.

Рассмотрим алгоритм реализации предложенной выше схемы вычислений. Задача решается в двух постановках. Первая — (1), (5), где имеет место согласование первого типа, и вторая — (2), (5) — при согласовании второго типа. Для решения задачи в первой постановке предлагается следующая схема [6]. Моноotonно уменьшаем значение λ от $\hat{\lambda}$ до 0, при этом анализируем левые границы четких множеств уровня λ нечетких множеств (3):

$$\left(\tilde{X}_j \right)_\lambda = \left[x_j^-(\lambda), x_j^+(\lambda) \right] - x_j^-(\lambda),$$

которые при подстановке в (1) должны обеспечивать выполнение этих неравенств, в противном случае считаем это значение λ недопустимым. Алгоритм останавливает свою работу при максимальном допустимом значении λ . Аналогично при решении задачи во второй постановке анализируем правые границы четких множеств уровня $\lambda - x_j^+(\lambda)$, при подстановке которых в систему неравенств (2) должно иметь место их выполнение.

Предложенная схема поиска решения задачи при учете ограничений (1) или (2), в зависимости от постановки, определяет оптимальное решение такой задачи $\hat{\lambda}$, $\hat{q}_{k_1}, \dots, \hat{q}_{k_p}$, $\hat{x}_{j_1}, \dots, \hat{x}_{j_m}$ [6].

В качестве иллюстративного примера рассмотрим задачу анализа проекта строительства или реконструкции автодороги в черте города. В ходе предпроектных исследований должен быть решен вопрос о категории проектируемой дороги, определяющей основные технические характеристики (количество полос движения, ширину обочин, толщину покрытия и т.д.). Как правило, применяемые в настоящее время методики не позволяют в должной мере учесть неопределенность многих факторов, обуславливающих качество проекта. Оценка качества принимаемых решений должна проводиться на основе экономических, социальных, технических и экологических показателей с учетом сложного характера их взаимосвязей на основе действующих ГОСТов и норм.

Для упрощения изложения сократим размерность задачи (количество учитываемых характеристик и показателей качества).

Введем следующие обозначения: x_1 — динамические характеристики транспортного потока (интенсивность движения, средняя скорость, состав и пр.); x_2 — характеристики дороги (продольный, поперечный уклон, число полос, ширина проезжей части, радиус закругления и пр.); x_3 — характеристики дорожной одежды (толщина покрытия, вид покрытия, прочность, характеристики материала, количество слоев и пр.); x_4 — ширина полосы зеленых насаждений; x_5 — фоновое загрязнение воздуха; x_6 — климатические условия (влажность, температура, ветер); x_7 — объем инвестиций; x_8 — цена земельного участка; x_9 — затраты на проектирование и строительство.

Система показателей качества сформирована с использованием методики интегральной оценки потребительских свойств автомобильных дорог [7]. Оценка социально-экономической эффективности производится по модели, приведенной в [8].

Показатели качества проекта: Q_1 — экологичность; Q_2 — социально-экономическая эффективность; Q_3 — информационно-эстетическая привлекательность.

Значения q_1, q_2, q_3 этих показателей определяются значениями характеристик системы $x_1, \dots, x_9$. Требования к показателям качества заданы в виде нечетких множеств $\tilde{Q}_l = \left\{ \left(q_l, \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l) \right) \right\}, l = \overline{1,3}$. Значение $\mu_{\tilde{Q}_l}(q_l)$ характеризует меру соответствия значения q_l заданному требованию $\tilde{Q}_l$.

Значения показателей качества определяются с помощью соответствующих лингвистических переменных с терм-множеством значений *Низкий, Средний, Высокий*. Функции принадлежности для q_i имеют схожий вид (рис. 2).

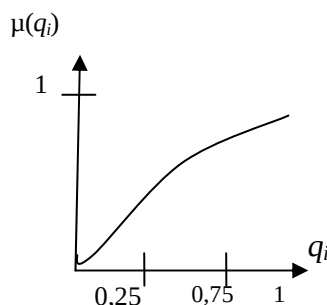


Рис. 2. Функция принадлежности для q_i

Структура взаимосвязей показателей качества с характеристиками приведена на рис. 3.

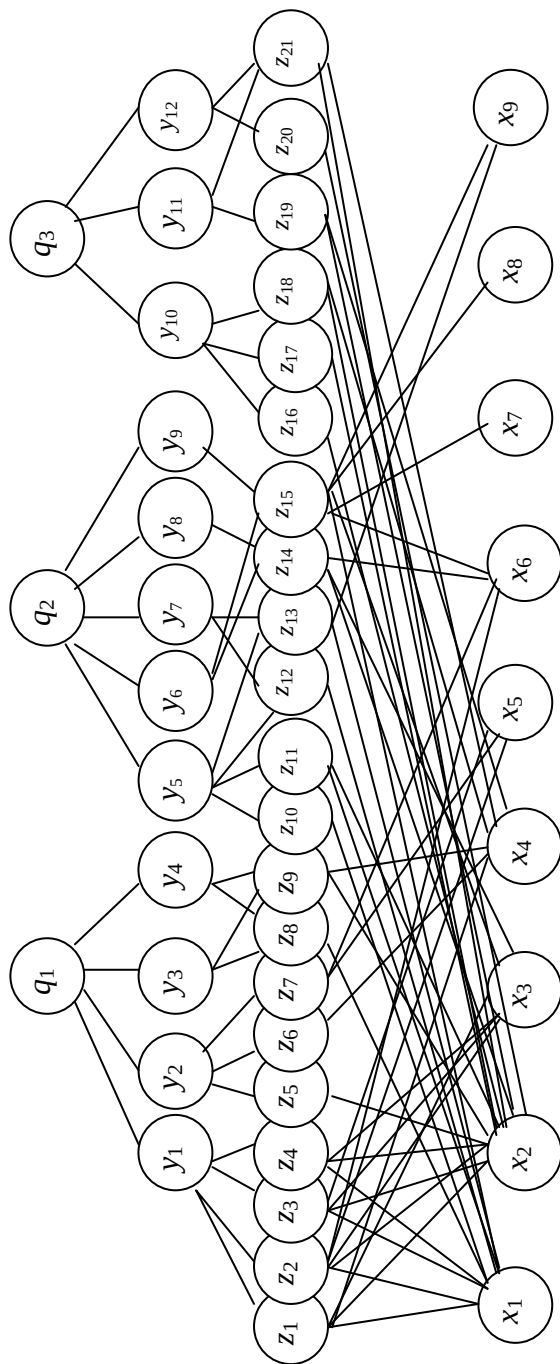


Рис. 3. Структура взаимосвязей показателей качества и характеристик: $q_1 = 0,61y_1 + 0,23y_2 + 0,11y_3 + 0,04y_4$; $q_2 = y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9$; $q_3 = 0,23y_{10} + 0,62y_{11} + 0,04y_{12} + 0,1y_{13}$; y_1 — уровень воздействия на окружающую среду; y_2 — качество микроклимата; y_3 — эффективность использования территорий; y_4 — социальная совместимость; y_5 — оценка социально-экономического эффекта от реализации проекта; y_6 — оценка риска реализации проекта; y_7 — затраты на ремонт и содержание дороги; y_8 — цена земельного участка; y_9 — затраты на проектирование и строительство; y_{10} — оценка информационно-визуального и визуально-ориентирующего воздействия; y_{11} — оценка своеобразия придорожной полосы; y_{12} — оценка привлекательности для пользователей; $y_{13} = 0,2z_1 + 0,46z_2 + 0,24z_3 + 0,1z_4$; z_1 — уровень шумового воздействия; z_2 — уровень загрязнения воздушной среды; z_3 — уровень загрязнения почвы; z_4 — уровень вибрации; $z_5 = 0,6z_{19} + 0,4z_{21}$; $z_6 = 0,2z_7 + 0,2z_8 + 0,3z_9$; z_7 — уровень озеленения; z_8 — качество автодорожных средств до внедрения проекта и после; z_9 — разность между годовыми убытками от аварий до внедрения проекта и после; z_{10} — разность между временными затратами до внедрения проекта и после; z_{11} — разность между социально-экологическими затратами до внедрения проекта и после; z_{12} — технологические риски; z_{13} — экономические риски; z_{14} — непрерывность визуального ориентирования; z_{15} — информационная ясность; z_{16} — эстетическая привлекательность; z_{17} — уровень привлекательности для пользователей; z_{18} — уровень адаптации к прилегающей местности; z_{19} — эстетическая привлекательность; z_{20} — уровень привлекательности для пользователей; z_{21} — уровень адаптации к прилегающей местности

Построим функции принадлежности характеристик нижнего уровня, которые определяют возможность того, что x_j примет соответствующее значение (рис. 4).

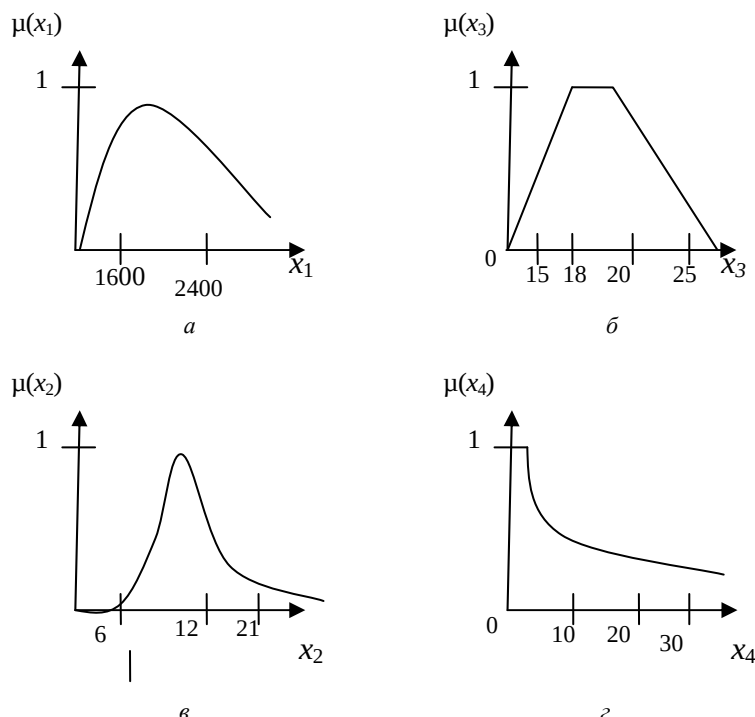


Рис. 4. Функции принадлежности: *a* — интенсивность движения, авт./сут; *б* — толщина покрытия (асфальтобетон), см; *в* — ширина проезжей части, м; *г* — ширина полосы зеленых насаждений, м

Определив значения для функций принадлежности нечетких множеств $\mu_{\Pi Q_1}$, решим задачу

$$\mu_{\tilde{Q}_1}(q_1) \wedge \mu_{\tilde{Q}_2}(q_2) \wedge \mu_{\tilde{Q}_3}(q_3) \wedge \mu_{\Pi Q_1}(q_1) \wedge \mu_{\Pi Q_2}(q_2) \wedge \mu_{\Pi Q_3}(q_3) \rightarrow \max.$$

Оптимальное решение задачи будет определяться следующими значениями: степень достижения цели $\hat{\lambda} = 0,68$, оптимальные требования к характеристикам: $\hat{x}_1 = 2000$ авт./сут, $\hat{x}_2 = 11$ м, $\hat{x}_3 = 17$ см, $\hat{x}_4 = 21$ м, минимальные требования к показателям качества $\hat{q}_1 = 0,82$, $\hat{q}_2 = 0,76$, $\hat{q}_3 = 0,84$.

Вывод. Применение рассмотренного метода не ограничивается приведенной постановкой задачи из градостроительной деятельности. Данный подход может быть использован для предварительного анализа множества возможных вариантов реализации проекта и оценки последствий принимаемых решений. Выбранная модель сложной системы в виде ориентированного функционально-взвешенного графа обеспечивает возможность учета взаимодействия различных характеристик. Принцип поэлементной декомпозиции при определении оптимальных значений параметров системы позволяет учесть ограничения на значения характеристик последнего уровня иерархи-

ческой системы, в том числе и ресурсные. Рассмотренный пример иллюстрирует возможность применения метода для решения задач проектирования сложных систем на ранних этапах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теличенко В.И., Гутенев В.В., Слесарев М.Ю. Подходы к интерпретации систем управления экологической безопасностью в строительстве // Экология урбанизированных территорий. 2006. № 2. С. 4—12.
2. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М. : Мир, 1976. С. 172—215.
3. Макеев С.П., Пицык В.В., Полуденко В.А. Согласование целей развития больших технических систем с возможностями реализации их характеристик при нечеткой исходной информации // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1991. № 5. С. 124—132.
4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М. : Наука, 1986. 312 с.
5. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. М. : Радио и связь, 1986. 288 с.
6. Санжапов Б.Х., Калина И.С. Обоснование реализации программы социально-экономического развития региона в условиях нечеткой информации // Известия Волгогр. гос. техн. ун-та. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. 2008. Вып. 5. № 8(46). С. 111—114.
7. Девиатов М.М., Вилкова И.М. О критериях оценки потребительских качеств автомобильных дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2006. Вып. 6(21). С. 91—98.
8. Гарипов А.В. Математическая модель оценки социально-экономической эффективности инвестиционного проекта в дорожном строительстве // По матер. XXXVI Междунар. конф. и дискус. науч. клуба, Ялта-Гурзуф, 20—30.05.10 : прилож. к журн. «Открытое образование». 2010. С. 160—161.
1. Telichenko V.I., Gutenev V.V., Slesarev M.Iu. Podhody k integratsii sistem upravleniya ekologicheskoy bezopasnostyu v stroitelstve // Ekologiya urbanizirovannykh territoriy. 2006. № 2. S. 4—12.
2. Bellman R., Zade L. Prinyatiye resheniy v rasplyvchatykh usloviyakh // Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheniy. M. : Mir, 1976. S. 172—215.
3. Makeev S.P., Pitcyk V.V., Poludenko V.A. Soglasovaniye tseley razvitiya bolshikh tekhnicheskikh sistem s vozmozhnostyami realizatsii ikh kharakteristik pri nechetkoy iskhodnoy informat-sii // Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. № 5. 1991. S. 124—132.
4. Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta / pod red. D.A. Pospelova. M. : Nauka, 1986. 312 s.
5. Diubua D., Prad A. Teoriya vozmozhnostey. Prilozheniye k predstavleniyu znaniy v informatike. M. : Radio i sviaz, 1986. 288 s.
6. Sanzhapov B.KH., Kalina I.S. Obosnovaniye realizatsii programmy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona v usloviyakh nechetkoy informatsii // Izvestiya Volgogr. gos. tekhn. un-ta. Ser.: Aktualnyye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh. 2008. Vyp. 5. № 8(46). S. 111—114.
7. Deviatov M.M., Vilkova I.M. O kriteriyakh otsenki potrebitelskikh kachestv avtomobilnykh dorog // Vestnik Volgogr. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkh. 2006. Vyp. 6(21). S. 91—98.
8. Garipov A.V. Matematicheskaya model' otsenki sotsial'no-ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnogo proekta v dorozhnom stroitel'stve // Po mater. XXXVI Mezhdunar. konf. i diskus. nauch. kluba, Yalta — Gursuf, 20—30.05.10 : prilozh. k zhurn. "Otkrytoye obrazovaniye". 2010. S. 160—161.

© Санжапов Б.Х., Садовникова Н.П., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

УДК 621 643 053

С.Г. Абрамян

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Рассмотрено взаимодействие двух экологических систем: линейно-протяженных сооружений и окружающей среды, которое условно разделяется на три стадии. Предлагаются пути снижения экологических потерь для каждой стадии. Аналитическим путем получены значения площади, подвергающейся деградационным воздействиям при испытании магистральных газопроводов. Составлена карта районирования территорий Волгоградской области, подвергаемых деградационным процессам при реконструкции и капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов. Подчеркивается большое значение качества выполнения строительно-монтажных работ для минимизации абсолютных потерь биocenозов при реконструкции и капитальном ремонте линейно-протяженных сооружений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая система, линейно-протяженные сооружения, окружающая среда, абсолютные экологические потери, продуцент, ряд Фибоначчи.

Interaction of two ecological systems is described: linearly-extended constructions and environment which is conditionally divided into three stages. Ways of decrease in ecological losses for each stage are offered. Analytically values of the square which are exposed degradation effects at the test of the main gas pipelines receives. The zoning plan of the Volgograd Region undergoes to the degradation processes in reconstruction and major repairs of the linear part of the main gas pipelines is made. The great significance of the performance quality of construction and assembly works to the minimize of absolute losses of biocenosis at reconstruction and major repairs linearly-extended constructions is emphasized.

К e y w o r d s: ecological system, linearly-extended constructions, environment, absolute ecological losses, producer, cartographical, Fibonacci series.

Эволюционный процесс взаимодействия двух экологических систем: линейно-протяженных сооружений (ЛПС), в частности магистральных трубопроводов (МТ), и окружающей среды (ОС) многие ученые условно расчленяют на три стадии. Приведем схему экологических потерь по О.И. Молдавину (рис. 1). На стадии I, характеризующейся некоторым условным максимумом t_C , совпадающим с окончанием строительства или реконструкции и капитального ремонта, происходит закономерное использование природных ресурсов в результате целенаправленного взаимодействия человека с окружающей средой. Далее процесс переходит в стадию II, которая в случае полного отсутствия восстановительных мероприятий характеризуется некоторым периодом t_H сравнительно устойчивого состояния с сохранением имевшихся

потерь. Этот период по существу является переходным к стадии III развития процесса в одной из двух возможных форм: а) естественного восстановления (самовосстановления) частично утраченного экологического потенциала; б) смешанного (или комплексного) восстановления, включающего в себя ряд восстановительных мероприятий.

Данная схема может являться основной точкой опоры для принятия решения по уменьшению экологических потерь при сооружении линейно-протяженных сооружений. Весь цикл экологических потерь состоит из трех составляющих.

$$t_{\text{ЭП}} = t_{\text{C}} + t_{\text{П}} + t_{\text{СЗ}}. \quad (1)$$

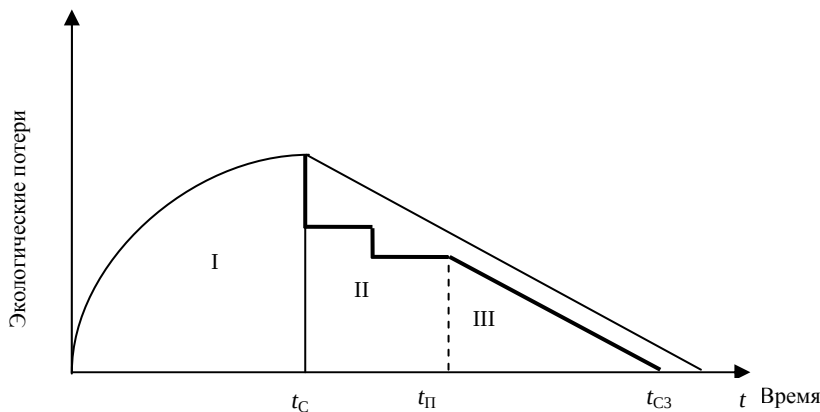


Рис. 1. Экологические потери в сфере сооружения и реконструкции магистральных трубопроводов по О.И. Молдаванову [1]

Обеспечение экологического баланса возможно только при уменьшении экологических потерь, что подразумевает сокращение сроков выполнения строительно-монтажных работ (СМР), использования природных ресурсов на стадии I. Данная стадия по продолжительности максимальная, поэтому автором выполнен ряд исследований, направленных именно на сокращение сроков СМР [2—4]. Продолжительность стадии II может быть уменьшена за счет применения геоинформационных системных технологий (ГИС-технологии) [5] на всех стадиях жизненного цикла ЛПС, которая позволит снизить абсолютно невосполнимые потери, связанные с уничтожением биологических популяций (изменения биогеоценозов) за пределами границ самовосстанавливаемости. После внедрения мероприятий по сокращению продолжительности СМР и ГИС-технологий экологические потери естественно будут сокращены. Выделенная на рис. 2 область формально показывает минимизацию интегральных потерь неживой и живой природы.

Экологическое равновесие может быть обеспечено по принципу максимизации 3Δ , где Δ — разности между t_C и t_{C1} ; $t_{П}$ и $t_{П1}$; $t_{СЗ}$ и $t_{СЗ1}$, и в природе опирается на состояние и свойства биогеоценозов флоры и фауны. Естественный природный баланс вследствие антропогенного изменения имеет тенденцию к смещению, и одна из основных задач исследования экологических систем состоит в достоверном прогнозе возможных последствий нарушенных равновесий и определении смещений равновесных состояний по фактическим (или планируемым) параметрам таких нарушений.

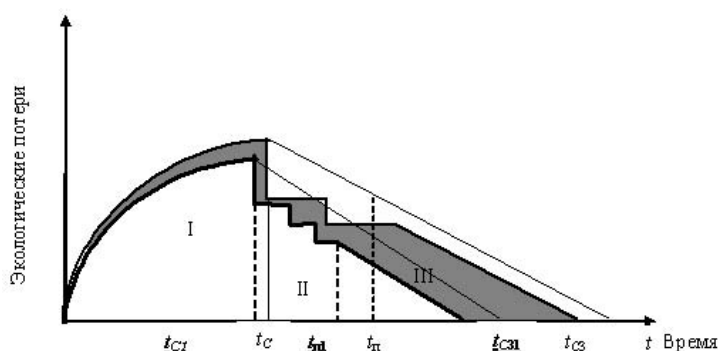


Рис. 2. Экологические потери в сфере сооружения ЛПС после применения экологозащитных мероприятий

Для оценки экологической ситуации при реконструкции и капитальном ремонте ЛПС автором ранее использовался [6] геодинамический показатель ζ , характеризующий степень подверженности территории δ_0 деградационным геологическим процессам:

$$\zeta = \frac{\delta}{\delta_0}, \quad (2)$$

где δ — площадь территории, охваченная деградационными процессами; δ_0 — площадь территории, необходимая для прохождения линейных ремонтно-строительных потоков.

Для полной оценки экологического состояния ОС при реконструкции и капитальном ремонте ЛПС определены значения ζ при выполнении многих технологических строительных процессов. Практика строительства, реконструкции и капитального ремонта линейной части МТ показывает, что испытание газопровода природным газом (как исключение разрешается в зимний период времени) наносит огромный ущерб ОС. Иногда при испытаниях происходят аварийные разрушения, при которых техногенное воздействие на окружающую среду значительно выше, чем при испытании трубопровода водой. Поэтому в данной работе приведены значения ζ только при испытании трубопровода. На основании статистических данных крупных аварий на газопроводах диаметром 1220 мм установлено, что радиус разброса фрагментов труб составляет в среднем 141 м (максимальное значение 369 м), радиус термического воздействия 250 м (максимальное значение 420 м) [7]. Покажем расчеты в табличной форме.

Т а б л и ц а 1

Значения ζ на 1 км трубопровода

Тип воздействия	Радиус действия, м	δ , га	Расчеты	ζ
Разброс фрагментов труб	141	28,2	28,2/4,5	6,27
	369	73,8	73,8/4,5	16,40
Термическое воздействие	250	50,0	50/4,5	11,11
	420	82,0	82/4,5	18,6

П р и м е ч а н и е. На 1 км трубопровода диаметром 1220 и 1420 мм с учетом временных дорог, кабельных линий и других строений отводится в среднем 4,5 га.

Для оценки влияния строительства, реконструкции, капитального ремонта на экологическое равновесие ОС можно использовать различные количественные характеристики:

абсолютные потери окружающей среды, выражаемые в конкретных единицах измерения состояния данных (территориальных или региональных) биогеоценозов флоры и фауны;

компенсационная возможность экосистемы, характеризующая ее восстанавливаемость в естественном и принудительном режимах;

опасность нарушения природного баланса, определяющая величину вероятности возникновения необратимых потерь и локальных экологических сдвигов;

уровень концентрации экологических потерь, характеризующий масштабы воздействия (трубопроводного строительства) на окружающую среду и др.

Характерная особенность перечисленных характеристик — их функциональная изменчивость во времени.

Если определить площадь охваченных деградационными процессами территорий отдельных районов Волгоградской области, через которые проходит трасса МТ (табл. 2), то можно определить их влияние на животный и растительный мир, т.е. выявить абсолютные потери биогеоценозов флоры и фауны.

Т а б л и ц а 2

Расчет площади территории Волгоградской области, охваченной деградационными процессами при испытании магистральных газопроводов (МГ)

Административные районы, через которые проходят МГ	Площадь территории, км ²				
	Общая	Охваченная деградационными процессами, км ²			
		При разбросе фрагментов труб	При термическом воздействии	Максимальная	%
Палласовский	12420	20,3/53,14	36/59	59	0,48
Николаевский	3440	14,21/37,19	25,2/41,32	41,32	1,20
Камышинский	3563	8,80/23,03	15,6/25,58	25,68	0,72
Ольховский	3300	12,18/31,88	21,6/35,42	35,42	1,07
Фроловский	3210	14,21/37,20	25,2/41,32	41,32	1,29
Серафимовичский	4360	12,85/33,65	22,8/37,39	37,39	0,85
Кумылженский	2977	20,30/53,14	36/59	59	1,98
Алексеевский	2300	8,12/21,25	14,4/23,62	23,62	1,03
Нехаевский	2220	7,44/19,48	13,2/21,64	21,64	0,97

Из табл. 2 видно, что Кумылженский район области более подвержен деградационным процессам. Это объясняется тем, что через территорию района проходят участки газопроводов Средняя Азия — Центр, Петровск — Новопсков и др. (рис. 3). В число опасных зон входят районы, близко расположенные к магистральным газопроводам. В расчетах принята не общая площадь Палласовского и Алексеевского районов, а только часть территорий, прилегающих к магистральным газопроводам. В сумме 330 км² площади вышеуказанных районов области находятся в опасной зоне. Отметим, что данные показатели не утешающие: во-первых, расчеты показаны для одного вида СМР (испытания газопровода); во-вторых, деградационные процессы, как отмече-

но выше, имеют функциональную изменчивость во времени (компоненты ОС по-разному реагируют на различные факторы).

В указанных районах области находятся растения, занесенные в Красную книгу РФ, редкие и исчезающие виды животных. При разбросе фрагментов труб и термическом воздействии есть большая вероятность, что погибнет часть продуцентов и консументов различной иерархии, по второму варианту развития событий из-за сокращения количества продуцентов постепенно будут сокращаться и консументы. Происходит явное изменение экологической пирамиды.

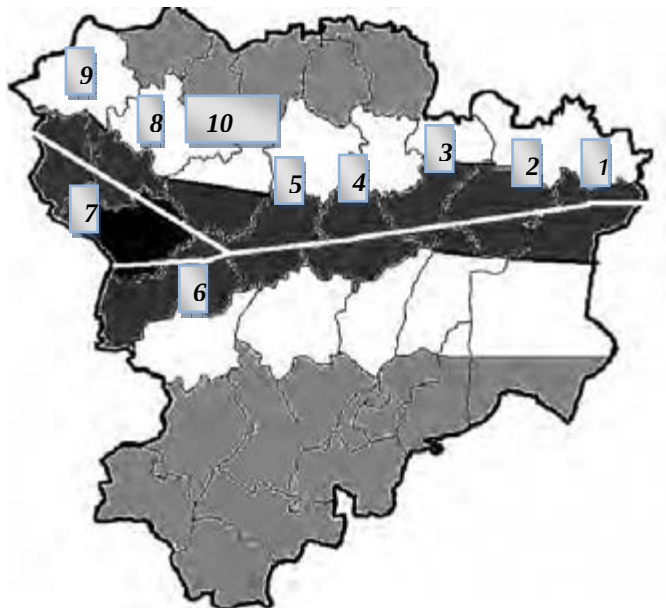


Рис. 1. Картографическое районирование территорий Волгоградской области, подвергаемых деградационным процессам при реконструкции и капитальном ремонте линейной части МТ: 1 — Палласовский; 2 — Николаевский; 3 — Камышинский; 4 — Ольховский; 5 — Фроловский; 6 — Серафимовичский; 7 — Кумылженский (Подтелковский); 8 — Алексеевский; 9 — Нехаевский, 10 — Михайловский

Абсолютные потери являются необходимой исходной компонентой для расчета многих характеристик экосистемы ремонтно-строительный объект — природа. Однако не всякие потери могут быть объективно и достоверно рассчитаны или же приведены к экономическому эквиваленту. Не всегда уровень ущерба может быть оценен по визуальным (или единовременным) признакам. Возможны скрытые потери, последствия которых проявляются значительно позже рассматриваемой ситуации.

В настоящее время вопросы количественной оценки и прогнозирования потерь мало исследованы и не могут быть использованы для решения практических задач по обеспечению экологической защиты. Многие же ученые для количественной оценки абсолютных потерь и самовосстановления отдельных видов консументов предлагают использовать ряд Фибоначчи, что, бесспорно, теоретически позволяет решать подобные проблемы: найти золо-

тую середину («сечение») самовосстанавливаемости потерь, определить синергетическую эффективность экологозащитных мероприятий.

Но необходимо отметить, что изменение пирамиды чисел биоценозов, характеризующее абсолютные потери биоценозов флоры и фауны, напрямую зависит от уровня формируемого качества и сокращения сроков выполнения СМР. Правильное решение подобной задачи позволит намного сократить потери ОС при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молдованов О.И. Качество сооружения магистральных трубопроводов. М. : Недра, 1979.
2. Абрамян С.Г., Чередниченко Т.Ф. Расчет строительных и ремонтно-строительных потоков линейно-протяженных объектов с применением ЭВМ / ВолгГАСА. Волгоград, 1995.
3. Абрамян С.Г., Атопов В.И. Оптимизация технологии и организации капитального ремонта магистральных трубопроводов / ВолгГИСИ. Волгоград, 1992.
4. Квитко Н.Н., Абрамян С.Г. Расчет линейного объектного потока при капитальном ремонте магистральных газопроводов // Экспресс-инф. Мингазпрома СССР. Сер. : Транспорт и хранение газа. 1988. № 9.
5. Абрамян С.Г. Концепция создания ГИС-технологии для экологического мониторинга линейных объектных ремонтно-строительных потоков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Строит. информатика. 2010. 4(11). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.
6. Абрамян С.Г. Экологические основы реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов : моногр. / ВолгГАСА. Волгоград, 2002. 212 с.
7. Абрамян С.Г., Савеня С.Н., Савеня А.А. Исследование факторов снижения технологического риска при эксплуатации магистральных газопроводов, имеющих стресс-коррозионные повреждения : научная монография / ВолгГАСУ. Волгоград, 2008. 130 с.

1. Moldanov O.I. Kachestvo sooruzheniya magistralnykh truboprovodov. M. : Nedra, 1979.
2. Abramian S.G., Cherednichenko T.F. Raschet stroitelnykh i remontno-stroitelnykh potokov lineino-protiazhonnykh ob'yektov s primeneniye EVM / VolgGASA. Volgograd, 1995.
3. Abramian S.G., Atopov V.I. Optimizatsiya tehnologii i organizatsii kapital'nogo remonta magistralnykh truboprovodov / VolgGISI. Volgograd, 1992.
4. Kvitko N.N., Abramian S.G. Raschet lineynogo ob'yektnogo potoka pri kapital'nom remonte magistralnykh gazoprovodov // Akspress-inf. Mingazproma SSSR. Ser.: Transport i hraneniye gaza. 1988. № 9.
5. Abramian S.G. Kontseptsiya sozdaniya GIS-tehnologii dlya ekologicheskogo monitoringa lineynykh ob'yektnykh remontno-stroitel'nykh potokov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser. : Stroitel'naiya informatika. 2010. Vyp. 4(11). Rezhim dostupa: www.vestnik.vgasu.ru.
6. Abramian S.G. Ekologicheskiye osnovy rekonstruktsii i kapital'nogo remonta magistralnykh truboprovodov : monogr. / VolgGASA. Volgograd, 2002. 212 s.
7. Abramian S.G., Savenia S.N., Savenia A.A. Issledovaniye factorov snizheniya tehnologicheskogo riska pri akspluatatsii magistralnykh gazoprovodov, imeushchikh stress-korozionnoye povrezhdeniya : nauchnaiya monografiya / VolgGASU. Volgograd, 2008. 130 s.

© Абрамян С.Г., 2010

Поступила в редакцию
в декабре 2010 г.

НАШИ АВТОРЫ

Абрамян Сусанна Грантовна
Abramyan Susanna Grantovna

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, susannagrants@mail.ru. Candidate of Science (Engineering), assistant professor, assistant professor of building technology, VSUACE

Алексиков Сергей Васильевич
Aleksikov Sergei Vasilevich

д-р техн. наук, доц., проф. кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru.

Doctor of Engineering Science, assistant professor, professor of construction and explanation transport systems, VSUACE

Баранникова Ольга Евгеньевна
Barannikova Olga Yevgenevna

ст. преподаватель кафедры экономики, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 404111, г. Волжский, пр. Ленина, 74, rodina.ru@gmail.com.

Senior lecturer of economics, Volzhsky Construction and Design Institute (branch) VSUACE

Бацокин Илья Сергеевич
Batsokin Ilya Sergeevich

аспирант кафедры процессов и аппаратов химического производства, Волгоградский государственный технический университет, bis33@yandex.ru, 8-917-331-27-03. Post-graduate student of processes and apparatuses of the chemical production, Volgograd State Technical University

Бацура Александр Витальевич
Batsura Aleksandr Vitalevich

канд. техн. наук, доц. кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of utility power and combusting engineering, VSUACE

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Aleksandr Nikolayevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе ВолгГАСУ, (8442) 96-99-54, banzaritcyn@mail.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of hydraulic and earthwork structures, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE

Богомолова Оксана Александровна
Bogomolova Oksana Aleksandrovna

канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ, (8442)96-99-45, boazaritcyn@mail.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of application mathematics and computer science, VSUACE

Бондарев Александр Борисович
Bondarev Aleksandr Boricovich

аспирант кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-920-240-44-40, kaf-st@stu.lipetsk.ru.

Post-graduate student of building materials, Lipetsk State Technical University

Борков Павел Валерьевич
Borkov Pavel Valerevich

канд. техн. наук, доц., кафедра строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-905-688-90-02, borkovpv@mail.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of building materials, Lipetsk State Technical University

Бурлаченко Олег Васильевич
Burlachenko Oleg Vasilevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии строительного производства, директор Института дистанционного образования ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of building technology, director of Virtual Educational Institute, VSUACE

Бурлаченко Елена Анатольевна
Burlachenko Yelena Anatolevna

аспирант ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, burlalena17@yandex.ru.

Post-graduate student, VSUACE

Бурцева Ольга Александровна
Burtseva Olga Aleksandrovna

канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, kazn_olga@mail.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of theoretical mechanics South Russia State Technical University (NPI)

Власов Вячеслав Анатольевич
Vlasov Vyacheslav Anatolevich

ст. преподаватель кафедры архитектуры ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, spok78@gmail.com.

Senior lecturer of architecture, VSUACE

Голованчиков Александр Борисович
Golovanchikov Aleksandr Borisovich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет; (8442) 24-84-31, pahp@vstu.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of processes and instruments of chemical productions, Volgograd State Technical University

Гулак Владимир Викторович
Gulak Vladimir Viktorovich

инженер, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84kuznetvrm@mail.ru.

Engineer, Voronezh state university of architecture and civil engineering, ul. 20 let Oktyabrya, 84, 394006, Voronezh, Russia

Евтеева Светлана Михайловна
Evtseyeva Svetlana Mikhailovna

канд. техн. наук, доц. кафедры строительства дорог и организации движения, Саратовский государственный технический университет, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, evtseevasm@yandex.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of road construction and traffic engineering, Saratov State Technical University

Жуков Артем Николаевич
Zhukov Artem Nikolayevich

аспирант кафедры архитектуры ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, zh-art87@yandex.ru.

Post-graduate student of architecture, VSUACE

Исламова Оксана Владимировна
Islamova Oksana Vladimirovna

ст. преподаватель кафедры управления качеством, Кабардино-Балкарский государственный университет, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, islamova_81@mail.ru.

Senior lecturer of quality management, Kabardino-Balkarian State University assistant professor of economics and management of road facilities, VSUACE

Казачкова Людмила Олеговна
Kazachkova Lyudmila Olegovna

ассистент кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, Kasachkova@mail.ru, 8-902-314-32-49.

Assistant department of economics and execution of the road facilities, VSUACE

Казначеева Ольга Константиновна Kaznacheyeva Olga Konstantinovna	доц. кафедры сопротивления материалов, строительной и прикладной механики, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, ул. Провсвещения, 132, kazn_olga@mail.ru. Assistant professor of mechanics of materials, building and applied mechanics, South Russia State Technical University (NPI)
Калашников Сергей Юрьевич Kalashnikov Sergei Yurevich	д-р техн. наук, профессор, действительный член Международной академии наук высшей школы, ректор ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, (8442) 97-49-72, info@vgasu.ru. Doctor of Engineering Science, professor, General Member of the International Higher Education Academy of Science, rector, VSUACE
Качурин Яков Владимирович Kachurin Yakov Vladimirovich	аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, (8442)96-98-87, info@vgasu.ru. Post-graduate student of hydraulic and earthwork structures, VSUACE
Кашарин Денис Владимирович Kasharin Denis Vladimirovich	канд. техн. наук, профессор кафедры гидравлики и инженерной гидрологии, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111, тел. 8(86352) 4-37-93. Candidate of Science (Engineering), professor of hydraulics and engineering hydrology, Novocherkassk State Land Reclamation Academy, 111, Pushkinskaya St., Novocherkassk, Rostov region, Russia
Ковылин Андрей Васильевич Kovylin Andrei Vasilevich	аспирант, техник кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442) 96-98-86, Kovylin.andrei@mail.ru. Post-graduate student, engineer of utility power and combusting engineering, VSUACE
Корнеев Александр Дмитриевич Korneyev Aleksandr Dmitriyevich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-4742-32-80-82, kaf-st@stu.lipetsk.ru. Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of building materials, Lipetsk State Technical University
Кузнецов Сергей Николаевич Kuznetsov Sergei Nicolaevich	канд. техн. наук, доц., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84kuznetvm@mail.ru. Candidate of Science (Engineering), associate professor of department of heating and ventilation, Voronezh state university of architecture and civil engineering, ul. 20 let Oktyabrya, 84, 394006, Voronezh, Russia
Куликов Алексей Викторович Kulikov Aleksei Viktorovich	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительства и эксплуатации транспортных систем ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-902-310-88-10. Candidate of Science (Engineering), assistant professor, assistant professor of construction and explanation transport systems, VSUACE
Култербаев Хусен Пшимурзович Kulterbayev Khusen Pshimurzovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теоретической и прикладной механики, Кабардино-Балкарский государственный университет, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, kulth@mail.ru. Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of engineering and applied mechanics, Kabardino-Balkarian State University
Латенко Дмитрий Васильевич Latenko Dmitrii Vasilevich	ст. преподаватель, ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, dmitriylatenko@mail.ru. Senior lecturer, VSUACE
Лобанова Елена Тимофеевна Lobanova Yelena Timofeyevna	старший преподаватель кафедры нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-98-80; info@vgasu.ru. Senior lecturer of oil-and-gas assets, VSUACE
Луговая Валентина Алексеевна Lugovaya Valentina Alekseyevna	канд. техн. наук, доц. кафедры нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442) 96-98-80; info@vgasu.ru. Candidate of Science (Engineering), assistant professor of oil-and-gas assets, VSUACE
Лукин Александр Владимирович Lukin Aleksandr Vladimirovich	ассистент кафедры строительства и эксплуатации транспортных систем ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-905-390-16-23. Assistant department of construction and explanation transport systems, VSUACE
Лукин Владимир Александрович Lukin Vladimir Aleksandrovich	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительства и эксплуатации транспортных систем ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-905-334-58-30. Candidate of Science (Engineering), assistant professor, assistant professor of construction and explanation transport systems, VSUACE
Лукина Ирина Геннадьевна Lukina Irina Gennadevna	ассистент кафедры нефтегазовых сооружений ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-98-80, info@vgasu.ru. Assistant department of oil-and-gas assets, VSUACE
Масляев Александр Викторович Maslyayev Aleksandr Viktorovich	канд. техн. наук, научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория, ВолгГАСУ, (8442) 97-49-64, maslaev@mail.ru, victor3705@mail.ru. Candidate of Science (Engineering), scientific seismological laboratory, VSUACE
Мелькумов Виктор Нарбенович Melkumov Viktor Narbenovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84kuznetvm@mail.ru. Doctor of Engineering Science, professor, head of department of heat and gas supply, Voronezh state university of architecture and civil engineering, ul. 20 let Oktyabrya, 84, 394006, Voronezh, Russia
Муравьева Людмила Викторовна Muravyova Lyudmila Viktorovna	канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-30, rludmia@yandex.ru. Candidate of Science (Engineering), assistant professor of building construction, grounds and security structures, VSUACE

Надеева Ирина Владимировна
Nadeyeva Irina Vladimirovna

канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры материаловедения и механики, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 404111, г. Волжский, пр. Ленина, 74, nadeeva_iv@mail.ru.
Candidate of Science (Physics and Mathematics), assistant professor, assistant professor of material and component science and mechanical science, Volzhsky Construction and Design Institute (branch) VSUACE

Орешкин Владимир Дмитриевич
Oreshkin Vladimir Dmitriyevich
Павлюков Виктор Петрович
Pavlyukov Viktor Petrovich
Первакова Галина Ивановна
Pervakova Galina Ivanovna

д-р техн. наук, проф.
Doctor of Engineering Science, professor
пенсионер, ВолгГАСУ, 400119, Волгоград, ул. Наропная, 129, (8442) 96-98-86.
Pensioner, VSUACE

ст. преподаватель кафедры процессов и аппаратов химической технологии, Волгоградский государственный технический университет, 400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, perva.galina@yandex.ru.
Senior lecturer of processes and instruments of chemical productions, Volgograd State Technical University

Перехоженцев
Анатолий Георгиевич
Perekhozhentsev Anatolii Georgiyevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой архитектуры ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, pag41@mail.ru.
Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of architecture, VSUACE

Прозорова Людмила Аркадиевна
Prozorova Lyudmila Arkadievna

аспирант кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, avtobanLipetsk@mail.ru.
Post-graduate student, Lipetsk State Technical University

Рогожкин Василий Михайлович
Rogozhkin Vasilii Mihajlovich

д-р техн. наук, проф., академик Российской академии проблем качества, зав. кафедрой строительных и дорожных машин, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 404111, г. Волжский, пр. Ленина, 74, SDMIO@mail.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, academician of Russian Academy of Quality Problems, Department Chairman of construction and road machines, Volzhsky Construction and Design Institute (branch) VSUACE

Романов Сергей Иванович
Romanov Sergei Ivanovich

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительства и эксплуатации транспортных систем ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, its_volggasu@mail.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of construction and explanation transport systems, VSUACE

Садовникова Наталья Петровна
Sadovnikova Natalya Petrovna

канд. техн. наук, доц., докторант кафедры информационных систем и математического моделирования ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, nps@volgodom.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor, postdoctoral student of data systems and mathematic simulation, VSUACE

Санжапов Булат Хазбуллович
Sanzhapov Bulat Khazbullovich

д-р физ.-мат. наук, проф., проф. кафедры информационных систем и математического моделирования ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sbkh@mail.ru.

Doctor of Physics and Mathematics Science, professor, professor of data systems and mathematic simulation, VSUACE

Скоробогатченко
Дмитрий Анатольевич
Skorobogatchenko Dmitrii Anatolevich

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, skor2004@rambler.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor, assistant professor of economics and execution of the road facilities, VSUACE

Соловьев
Александр Владимирович
Solovev Aleksandr Vladimirovich
Стадник Александр Юрьевич
Stadnik Aleksandr Yurevich
Томарева Инесса Александровна
Tomareva Inessa Aleksandrovna

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-8442-96-98-87, info@vgasu.ru.
Post-graduate student of hydraulic and earthwork structures, VSUACE

аспирант ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, its_volggasu@mail.ru.
Post-graduate student, VSUACE

канд. техн. наук, доц. кафедры нефтегазовых сооружений, начальник учебного отдела учебно-методического управления ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, inestom@bk.ru.

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of oil-and-gas assets, director of Instruction of educational and methodological administration, VSUACE

Усадский Денис Геннадиевич
Usadski Denis Gennadiyevich
Ушаков Николай Александрович
Ushakov Nikolai Aleksandrovich

аспирант ВолгГАСУ, 8-919-547-50-98, obmol@bk.ru.
Post-graduate student, VSUACE

учебный мастер строительных и дорожных машин, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 404111, г. Волжский, пр. Ленина, 74, SDMIO@mail.ru

educational master of construction and road machines, Volzhsky Construction and Design Institute (branch) VSUACE

Фокин Владимир Михайлович
Fokin Vladimir Mikhailovich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru.

Doctor of Engineering Science, professor, Department Chairman of utility power and combusting engineering, VSUACE

Фролов Алексей Юрьевич
Frolov Aleksei Yur'evich

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442) 96-99-54, banzaritcyn@mail.ru.
Post-graduate student, department of Hydraulic and Earth Structures VSUACE

Цветков Владимир Константинович
Tsvetkov Vladimir Konstantinovich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теоретической механики ВолгГАСУ, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442) 96-99-08, info@vgasu.ru.
Doctor of Technical Science, professor, Head of Department of theoretical mechanics, VSUACE

Шубин Алексей Михайлович
Shubin Aleksei Mikhailovich

канд. экон. наук, доц., доц. кафедры экономики и управления проектами в строительстве ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, Академическая, 1, al-shubin@yandex.ru.
Candidate of Economic Science, assistant professor, assistant professor of economics and project administration in the binding, VSUACE

Шубин Михаил Алексеевич
Shubin Mikhail Alekseyevich

д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, заслуженный эколог РФ, 400074, Волгоград, Академическая, 1, m-shubin@yandex.ru.

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, professor of water supply and disposal, deserved Ecologist of the Russian Federation, VSUACE канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и архитектуры, Тульский государственный университет, 300600, г. Тула, пр. Ленина, 92, shulzh79@mail.ru.

Шульженко Сергей Николаевич
Shulzhenko Sergei Nikolayevich

Candidate of Science (Engineering), assistant professor of urban development and architecture, Tula State University

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vgasu.ru (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

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.

Библиографические сведения о публикациях в журнале и приставные списки литературы 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.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

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.) и акта передачи произведения (2 экз.) (скачать бланки по адресу http://www.vgasu.ru/rus/publishing/rio_vestnik_prop.php), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк там же), *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.

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: *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 завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 3 до 7 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 (Сур) № 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 A4 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 (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристайные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания 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 (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *на латинице*, записи на других языках просто повторяются.

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.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

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. Корректурная статья 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).

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

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. 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-градоостроительной 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 ВолгГАСУ www.vgasu.ru, в разделе *Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-*

строительного университета (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, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8-442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8-442)-96-98-46 у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева**.

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. (8-442)-96-98-28. E-mail: goracheva@e@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» временно выходит в одной серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).

Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343

(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала

обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски серий «**Политематическая**» и «**Строительная информатика**» электронного сетевого научно-технического журнала «**ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ**».

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.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл. № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, ISSN **1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство № **444 от 20.10.10**, номер гос. рег. **0421100065** (на 2011 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала. Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале

«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому 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 **E 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.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл. № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, ISSN **1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru в разделе Издательская деятельность / Научные журналы.

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2011. Вып. 21 (40)**

Редактор *О.Е. Горячева*

Корректоры *М.Л. Песчаная, О.В. Горячева*

Перевод на английский язык *Н.И. Копина*

Компьютерная правка и верстка *О.Е. Горячева, О.В. Горячева, А.Г. Чурзина*

Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин, А.Г. Чурзина*

Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 17.02.11. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 13,4. Усл. печ. л. 15,05. Тираж 500 экз. Заказ №

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Отпечатано в ООО «Царицынская полиграфическая компания»
400117, г. Волгоград, б-р 30-летия Победы, 11а