

УДК 624.1 624.42

В. В. Габова^а, М. В. Быкодеров^б, Е. С. Кашина^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»*

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА И БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННОГО ПОДЗЕМНОГО АВТОПАРКИНГА

Выполнен анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга. Произведен расчет жилого дома вблизи подземной парковки в программном комплексе ЛИРА-САПР, определена осадка здания методом послойного суммирования, а также определено критическое расстояние, после которого начинается появляться дополнительная осадка.

Ключевые слова: взаимное влияние, метод послойного суммирования, дополнительная осадка.

В настоящее время проводится множество исследований взаимного влияния зданий и сооружений в связи с уплотнением городской застройки. Проектирование в плотной городской застройке с каждым годом все более актуально, проведение различных мероприятий по уменьшению взаимного влияния зданий также остается важной темой.

В многоэтажном жилом доме необходимо и важно иметь парковочные места для жильцов — владельцев автомобильных средств. Не всегда есть возможность создать благоприятную обстановку с парковочными местами вокруг дома, поэтому в последнее время стало обычным проектирование подземных автопаркингов. Одним из решений является их проектирование на подземных этажах зданий, другим — проектирование подземных отдельно стоящих сооружений.

Расчет взаимного влияния зданий необходим для соблюдения множества условий, обязательных при проектировании и дальнейшем возведении зданий или сооружений [1, 2]. К таким условиям относятся:

- исключение возможного негативного влияния нового объекта на старый при строительстве и эксплуатации;
- проведение специальных мероприятий по снижению взаимного влияния объектов;
- расчет безопасного, минимального расстояния, на котором здания и сооружения не будут влиять друг на друга.

Взаимное влияние зданий и сооружений большей частью сказывается на грунтах основания объектов, их напряженно-деформированном состоянии (НДС). Могут возникать дополнительные напряжения в грунте, передающиеся на фундамент и вышележащие конструкции, нередко проявляется дополнительная осадка, которая по своей природе всегда является неравномерной, ее поведение сложно моделируемое и почти всегда непредсказуемое [3]. Все это часто негативно сказывается на здании или конструкции при эксплуатации.

Из основных мероприятий по устранению взаимного влияния остаются следующие конструктивные решения: стена в грунте, шпунт Ларсена, усиление грунтов химическими инъекциями [4, 5]. Выбор варианта зависит от гео-

логических условий площадки, возможности использования ударного оборудования, экономических выгод и др.

Основные цели предлагаемого исследования — определение наличия взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близко расположенной подземной автопарковки в программном комплексе (ПК) ЛИРА-САПР, расчет осадки методом послойного суммирования, определение минимального расстояния между зданиями без дополнительной осадки [6, 7].

Проведено исследование взаимного влияния сооружений, расчетная схема выполнена в ПК ЛИРА-САПР с использованием метода конечных элементов [8—12], шаг конечных элементов 0,5 м (рис. 1).

Исходные характеристики: проектируемое жилое здание представляет собой многоэтажное односекционное здание, многоугольное в плане, с габаритными размерами $34,2 \times 16,8$ м, количество этажей — 21, имеется также цокольный этаж. Высота здания от поверхности земли до максимально высокой точки (верх парапета) — 68,00 м.

Подземная автопарковка представляет собой двухэтажное подземное сооружение. Высота от фундамента до покрытия 5,2 м. Размеры в плане $50,5 \times 28,5$ м. Расстояние в плане между жилым зданием и подземной автопарковкой — 18 м.

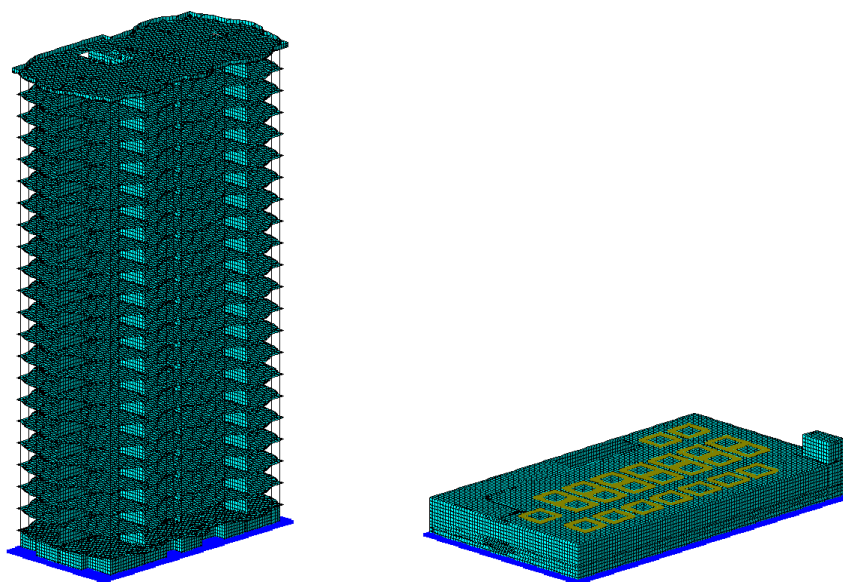


Рис. 1. Расчетная схема жилого здания и подземной автопарковки в ПК ЛИРА-САПР

В разрезе площадки проектируемого сооружения выделено шесть инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Расчетные значения характеристик физико-механических свойств грунтов выделенных ИГЭ вычислены на ПЭВМ в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016¹ и ГОСТ 20522-2012² (приложение Н) и приведены на рис. 2.

¹ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М., 2017. 228 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>.

² ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096130>.

Обозначения характеристик приняты в соответствии с ГОСТ 25100—2020³, по этому же ГОСТу выполнена и классификация грунтов, кроме термина «песчано-алевритовая порода».

В подсистему «ГРУНТ» заносятся данные расчетные значения характеристик грунтов по каждому слою отдельно.

Характеристики грунтов																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	№	Усл.	Наименование	Цвет	Модуль деформации, т/м ²	Коеффициент Пуассона	Удельный вес грунта, т/м ³	Коеффициент пористости	Природная влажность, доли	Показатель текучести IL	Вода Лёсс	Коеффициент пористости	Удельное сцепление Rc, т/м ²	Угол внутреннего трения Fi, °	Предельное напряжение растяжения Rs, т/м ²	Коеффициент пропорциональности K, т/м ⁴	и код грунта
2	ИГЭ	обозн.	грунта														
3																	
4																	
5																	
6	1		Суглинки с просло		1290	0.35	1.75	5	0.1		W	0.706	0.96	24	0.1	0	
7	2		Суглинки с просло		510	0.35	1.95	5	0.22	0.23	W	0.714	0.96	24	0.02	0	
8	3		Песчано-ареврита		2940	0.3	1.91	5	0.25			0.762	3.6	28	0.16	0	
9	4		Глина		1520	0.42	1.86	5	0.31			0.938	3.44	26	0.4	0	
10	5		Песок		2800	0.3	1.94	5	0.28			0.75	0.01	25	1	0	
11	6		Песчано-ареврита		2900	0.3	1.91	5	0.25	0.1		0.788	1.89	27	0	0	
12																	

Примечания: значения Rc, Fi, Rs в расчете коэффициентов постели C1, C2 не используются, но задаются для последующего экспорта в жесткости ЛИРА-САПР. Значения IL и K используются для расчета жесткости свай (КЗ 57)

Рис. 2. Расчетные значения характеристик прочностных и деформационных свойств грунтов

Заданы характеристики скважин, которые расставлены по сетке, соответствующей строительной площадке (рис. 3). Следующим действием импортировали нагрузку от здания на грунты (рис. 4).

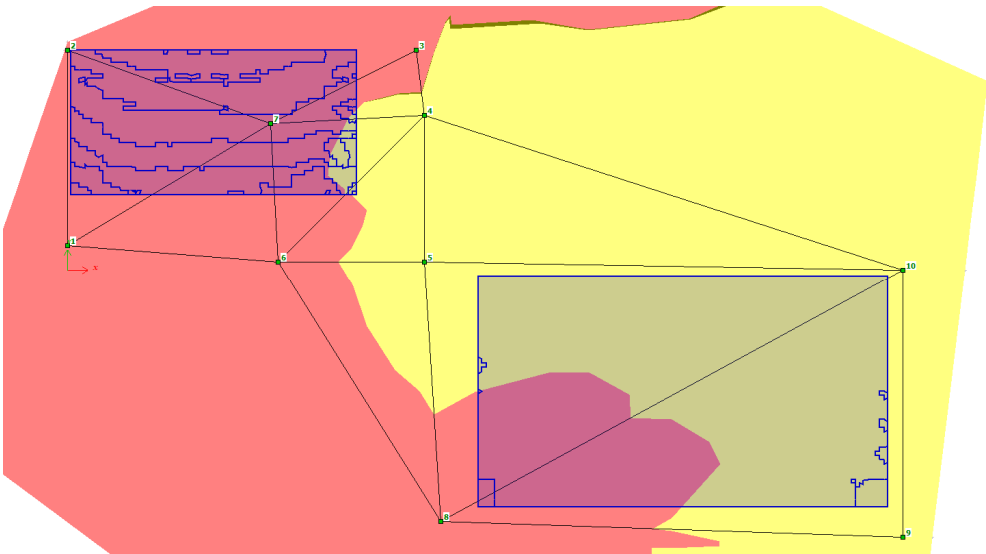


Рис. 3. Жилой дом и подземная парковка на отметке 65,10 м в плане

³ ГОСТ-25100-2020. Грунты. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>.

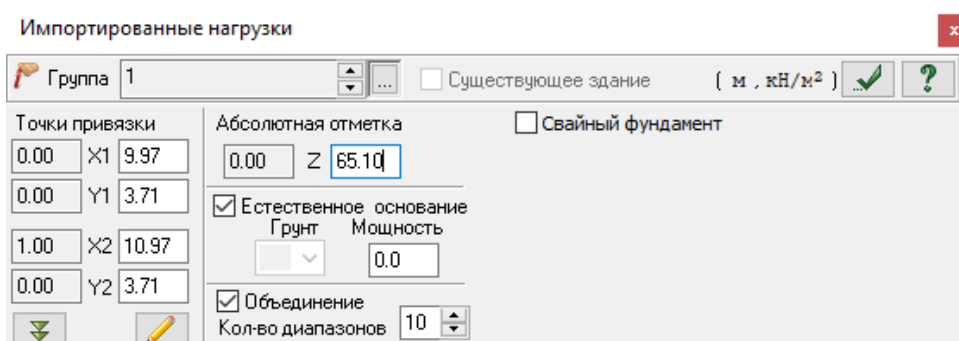


Рис. 4. Импорт нагрузок

Целью расчета оснований по деформациям является ограничение абсолютных или относительных перемещений фундаментов и надфундаментных конструкций такими пределами, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения, не снижается его долговечность. При этом имеется в виду, что прочность и трещиностойкость фундаментов и надфундаментных конструкций проверены расчетом, учитывающим усилия, которые возникают при взаимодействии сооружения с основанием. Методы расчета, излагаемые в СП и в рекомендациях к СНиПам, основываются на теории упругости. Расчет по деформациям проводится по второй группе предельных состояний.

При расчете оснований по деформациям должно соблюдаться следующее условие:

$$S \leq S_u, \quad (1)$$

где S — совместная деформация основания и сооружения; S_u — предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое в соответствии с требованиями пп. 5.6.46...5.6.50 СП 22.13330.2016.

Для данного типа жилого дома предельное значение осадки составляет не более 15 см. Применяв метод послойного суммирования, определим осадку жилого здания.

Осадка основания S с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства определяется методом послойного суммирования:

$$S_i = \sum_{i=1}^n \left[\beta \frac{(\sigma_{zpi}^{cp} - \sigma_{z\gamma i}^{cp}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \frac{\sigma_{z\gamma i}^{cp} \cdot h_i}{E_{ei}} \right], \quad (2)$$

где второе слагаемое учитывается в случае, если глубина заложения подошвы фундамента больше 4 м, в исследуемом здании глубина заложения фундамента $d_n = 3,33$ м; $\beta = 0,8$ — безразмерный коэффициент; σ_{zpi}^{cp} — среднее значение вертикального нормального напряжения (далее — вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа:

$$\sigma_{zpi}^{cp} = ap, \quad (3)$$

где a — коэффициент, учитывающий изменение давления в грунте по глубине, принимается по табл. 5.8 СП 22.13330.2016; p — среднее давление под подошвой фундамента, кПа, $p = 325,9$ кПа; h_i — толщина i -го слоя грунта, см, принимается не более 0,4 ширины фундамента; E_i — модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа; $\sigma_{z\gamma i}^{cp}$ — среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента от собственного веса, выбранного при отрывке котлована; $E_{e,i}$ — модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа; n — число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания; σ_{zg} — вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта, кПа, в точке основания на глубине z от подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg} = \gamma' d_n + \sum_{i=1}^n (\gamma h + \gamma(z_i - z_{i-1})). \quad (5)$$

Здесь z_i — глубина верхней границы i -го слоя грунта, отсчитываемая от подошвы фундамента, м.

Нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации $E \leq 7$ МПа. Если такой слой залегает непосредственно ниже глубины $z = H_c$, то его включают в сжимаемую толщу, а за H_c принимают минимальное из назначений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие

$$\sigma_{z\gamma} = \alpha \gamma' d,$$

$$\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}.$$

Таким образом,

$$S_i = \sum_{i=1}^n \left[\beta \frac{(\sigma_{zpi}^{cp} - \sigma_{z\gamma i}^{cp}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \frac{\sigma_{z\gamma i} \cdot h_i}{E_{ei}} \right] = 129,171 \text{ мм.}$$

Допустимая осадка для гражданского многоэтажного здания с полным каркасом с устройством монолитных перекрытий определяется по табл. Г.1 СП 22.13330.2016 и равна $S_{\max} = 15$ см.

$129,171 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$, — условие выполняется.

Расчет по деформациям также произведен в ПК ЛИРА-САПР, получено $S_i = 124$ мм (рис. 5).

Проведем сравнение результатов, полученных в ПК ЛИРА-САПР и при расчете по СП 22.13330.2016:

$$\frac{129 - 124}{129} \cdot 100\% = 3,87\%,$$

что меньше 5 %. Таким образом, подтверждается достоверность расчетов.

Далее проведен расчет минимального расстояния, на котором проявится дополнительная осадка от подземной автопарковки. Расчет деформаций оснований и фундаментов при увеличении вертикальных напряжений из-за но-

вого строительства необходимо выполнять с помощью метода послойного суммирования или линейно-деформируемого слоя в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016. Данный расчет можно не выполнять, если выполняется следующее условие⁴ [13]:

$$K_r L_{\phi} \geq L_r, \quad (6)$$

где L_{ϕ} — минимальное расстояние между существующими и строящимися фундаментами, м; L_r — расстояние, определяется по графику (рис. 6).

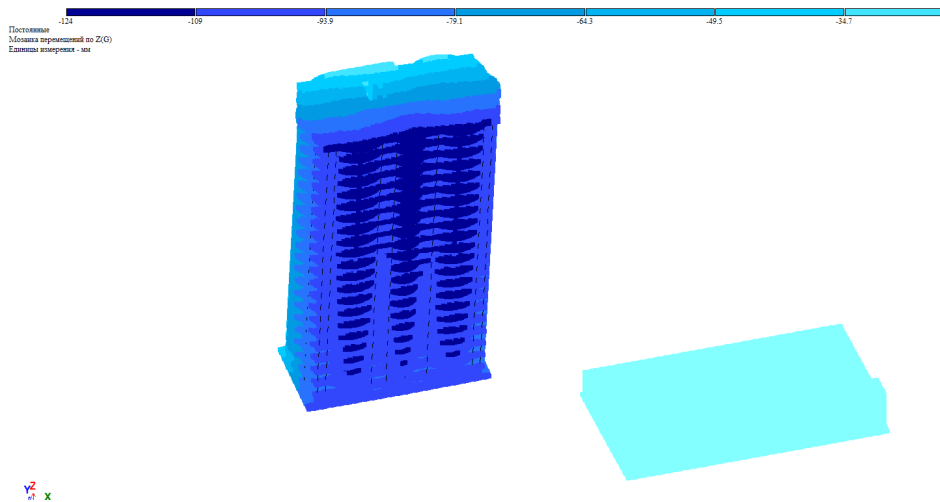


Рис. 5. Расчет в ПК ЛИРА-САПР, деформации по оси Z

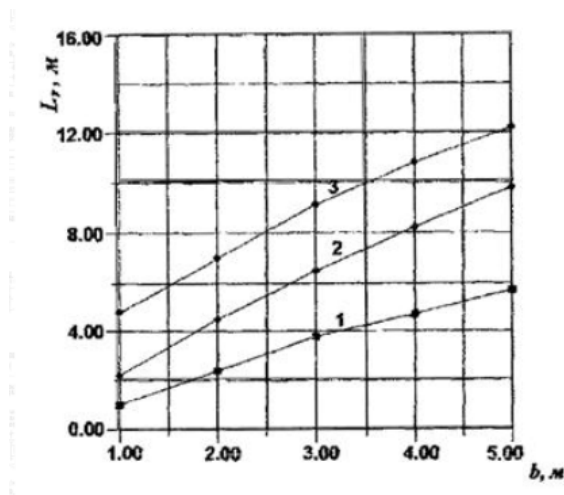


Рис. 6. График для определения расстояния между фундаментами, при котором учитывается влияние нового строительства для прямоугольного фундамента

⁴ Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной городской застройки в г. Москве. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003454>.

Далее, K_r — коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_r = [0,06 \cdot (E - 10) / b] + 1, \quad (7)$$

$$K_r = [0,06 \cdot (23,9 - 10) / 17,8] + 1 = 1,047,$$

$$L_\phi = 18 \text{ м},$$

$$L_r = 12 \text{ м},$$

$$1,047 \cdot 18 \geq 12,$$

$18,846 \geq 12$ — условие выполняется, учитывать взаимное влияние не нужно.

Используя формулу (6), определим минимальное расстояние между зданиями, при котором нет необходимости учитывать дополнительную осадку:

$$L_\phi \geq \frac{L_r}{K_r} = \frac{12}{1,047} = 11,46 \text{ м}.$$

При уменьшении данного расстояния между зданием и подземным автопаркингом учитывать дополнительную осадку здания необходимо для обеспечения безопасности, долговечности и надежности сооружений. Если с учетом дополнительной осадки здание не удовлетворяет требованиям СП 22.13330.2016, то следует либо изменить конструктивное решение по каркасу здания (в нашем примере — изменить монолитную фундаментную плиту на свайное поле с ростверком) [15], либо предусмотреть на строительной площадке мероприятия по уменьшению воздействия взаимного влияния, которые описаны выше в статье [16].

Недостаток знаний по вопросу взаимного влияния зданий влечет за собой нежелательные последствия как для нового строительства, так и для старого фонда. Следовательно, при проектировании зданий важно учитывать все факторы, которые могут повлиять на его работу, особенно в плотной городской застройке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потемкин Д. А., Очнев В. Н. Взаимное влияние фундаментов близкорасположенных разнотипных высотных зданий // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2011. № 2. С. 241—245.
2. Берловская Е. И., Пчелинцева Е. Ю. Анализ взаимного влияния фундаментов зданий и сооружений в стесненных условиях городской застройки // Избранные доклады 63-й университетской науч.-технич. конф. студентов и молодых ученых. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 187—191.
3. Кашина Е. С., Габова В. В. Оценка взаимного влияния фундаментов близкорасположенных разновысотных зданий // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2022. С. 35—38.
4. Далматов Б. И. Проектирование и устройство основ около нынешних зданий. Л. : ЛДНТП, 1976. 36 с.
5. Проектирование фундаментов в стесненных условиях городской застройки: учеб.-метод. пособие / С. В. Калошина, О. А. Шутова, А. В. Захаров, А. Б. Пономарев, М. И. Кудашева. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2021. 223 с.
6. Колесников А. О., Костюк Т. Н., Попов В. Н. Расчет вертикальной жесткости фундамента с учетом взаимного влияния свай // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 229—236.

7. Калошина С. В., Пономарев А. Б. Моделирование влияния нового строительства на существующую застройку в программном комплексе Plaxis 8.0 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. Вып. 17(36). С. 24—28.
8. Ухов С. Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов. М. : МИСИ, 1973. 118 с.
9. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Specific features and advantages of the finite element method in the form of classical mixed method as an alternative for the traditional finite element method // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 121—124.
10. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Modified Algorithm for the Analysis of Thin Plates by the Finite Element Method in the Form of the Classical Mixed Method // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1766—1770.
11. Игнатьев А. В. Метод конечных элементов в форме классического смешанного метода (особенности и возможности применения) // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3(260). С. 55—60.
12. Габова В. В. Применение смешанной формы МКЭ к расчетам стержневых систем: дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2011. 196 с.
13. Сотников С. Н., Симагин В. Г., Вершинин В. П. Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений: опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР. М. : Стройиздат, 1986. 94 с.
14. Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В. Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 329—335.
15. К вопросу о взаимном влиянии близко расположенных параллельных незаглубленных ленточных (плитных) фундаментов на связном основании / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, Я. В. Качурин, И. В. Якименко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 50—70.

© Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С. Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 90—98. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_90.

Об авторах:

Габова Виктория Викторовна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

Быкодеров Максим Викторович — канд. техн. наук, эксперт по разделу «Конструктивные решения», АУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации» (АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»); bmvwww@gmail.ru

Кашина Екатерина Сергеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit_cat08@mail.ru

Viktoriya V. Gabova^a, Maksim V. Bykoderov^b, Ekaterina S. Kashina^a

^a **Volgograd State Technical University**

^b **AU YANAO "Management DEPD"**

ANALYSIS OF MUTUAL INFLUENCE OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING AND A NEARBY AUTOPARKING UNDERGROUND

The article analyzes the mutual influence of multi-storey residential building and a nearby autoparking underground. Calculation of a residential building in the vicinity of an underground parking lot in the program complex LIRA-SAPR, the method of layerwise summation determined the precipitation of the building and critical distance at which additional sediment starts to appear has been determined.

Key words: mutual influence, layered summing method, additional sediment.

For citation:

Gabova V. V., Bykoderov M. V., Kashina E. S. [Analysis of mutual influence of a multi-storey residential building and a nearby autoparking underground]. *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], 2024, iss. 2, pp. 90—98. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_90.

About authors:

Viktoriya V. Gabova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

Maksim V. Bykoderov — Candidate of Engineering Sciences, expert on the section "The constructive solutions" Autonomous institution of the Yamal-Nenets autonomous district "Management of state expertise of project documentation" (AU YANAO "Management DEPD"); bmvwww@gmail.ru

Ekaterina S. Kashina — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit_cat08@mail.ru