

УДК 624:697.12

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГЛУБЛЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ

*к.т.н., доц. Никифорова Т.Д., д.т.н., проф. Савицкий Н.В.
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы.

Необходимость рационального использования топливно-энергетических ресурсов, повсеместное ухудшение экологической обстановки, качественно новые требования к проектированию и строительству современного жилья привели к разработке государственной программы и нормативно-технических документов, направленных на решение задачи энергосбережения и снижения эксплуатационных затрат в строительстве.

Сегодня существует множество технических решений (зачастую незаслуженно забытых), позволяющих существенно снизить энергопотребление в зданиях и сооружениях. В частности, количество энергии, необходимой для эксплуатации здания, может быть уменьшено за счет рационального выбора места строительства, ориентации здания по ветру и солнцу, использования защитных свойств рельефа и благоприятных качеств расположенных рядом водоемов, лесов и т.д.

Принимая во внимание сложившиеся положительные тенденции в строительстве индивидуального малоэтажного жилья одним из эффективных способов экономии энергоресурсов, затрачиваемых на обеспечение комфортного режима помещений и одновременного уменьшения нагрузки на природную среду может стать возведение заглубленных жилых зданий.

Проектирование заглубленных жилых зданий должно осуществляться исходя из его конструктивных особенностей. При этом следует стремиться к выбору такой конструктивной системы, которая требует минимальных суммарных затрат как при строительстве здания, так и при его эксплуатации.

Ранее были выполнены исследования энергоэффективности заглубленных жилых зданий [1, 2, 7], сформулированы методологические подходы к расчету и проектированию конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий [8], разработана инженерная методика расчета прочности и деформаций железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом сульфатной коррозии бетона [3, 5], рассмотрены особенности расчета конструкций заглубленных зданий с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом [4, 6].

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом взаимодействия с грунтовым массивом и выбор рационального варианта конструкций заглубленного здания при варьировании жесткостных характеристик.

Изложение основного материала.

Для анализа напряженно - деформированного состояния конструкций, которые взаимодействуют с грунтом, как единой системы "заглубленное здание – грунтовый массив" были рассмотрены три расчетные модели, которые отличались способом моделирования контактной поверхности между бетонной конструкцией и грунтом (с использованием двух узловых КЭ 262, одноузловых КЭ 261 и без использования специальных конечных элементов).

В результате сравнения полученных результатов расчета, для дальнейших исследований, была принята пространственная расчетная модель заглубленного здания, которая учитывает совместную работу конструкций здания с грунтовым массивом.

Для создания пространственной расчетной модели заглубленного здания (рис. 1), учитывающей совместную работу конструкций с грунтовым массивом, использовались конечные элементы: КЭ 271 – физически нелинейный объемный конечный элемент грунта в форме параллелепипеда для моделирования грунтового массива; КЭ 44 – универсальный конечный элемент оболочки для моделирования конструкций заглубленного здания; КЭ 261 – одноузловой конечный элемент упругой связи для моделирования поверхности контакта системы «грунт-заглубленная конструкция», позволяющий смоделировать работу пружины (упругого основания).

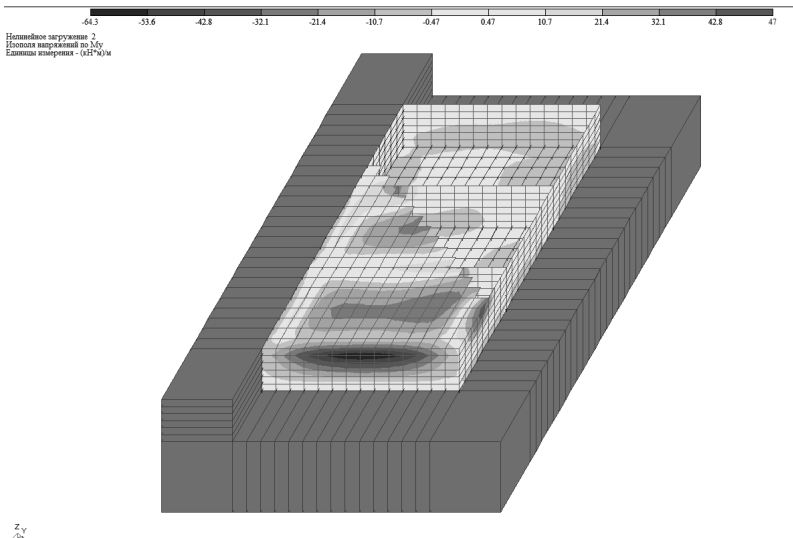


Рис. 1. Пространственная расчетная модель заглубленного здания

Выбор рационального варианта конструктивного решения заглубленного здания выполнялся на примере расчета и анализа пространственных компьютерных моделей одноэтажного заглубленного здания размером в плане 14х24 м, высотой 3м. Здание расположено на склоне.

Массив грунтового основания принимался глубиной 27 м и 15 м в каждую сторону от здания [6].

При расчетах варьировалась толщина несущих наружных стен здания (200, 300 и 400 мм), а так же для анализа влияния пространственной жесткости здания на характер напряженно-деформированного состояния конструкций заглубленного здания варьировался шаг поперечных стен (4, 6, 8, 12 и 24 м), выполняющих роль диафрагм жесткости.

В результате расчета рассматриваемых вариантов заглубленного здания были получены значения внутренних усилий (табл. 1, табл. 2) и выполнен подбор площади рабочей арматуры в элементах конструкций заглубленного здания (табл. 3).

Анализ результатов (табл. 1, 2) показывает, что продольные наружные стены заглубленного здания, граничащие с грунтом, воспринимают значительный изгибающий момент, вызванный боковым давлением грунта. При этом величина давления, а, следовательно, и величина изгибающего момента зависят от толщины стены, а также от шага поперечных стен. Для всех рассмотренных вариантов выполняется закономерность: чем меньше шаг поперечных стен, тем меньше значение усилия изгиба возникает в сечениях элементов. Такие закономерности изменения внутренних усилий показывают, что при увеличении шага поперечных стен резко увеличивается расход арматуры.

Таблица 1

Значения внутренних усилий в элементах конструкций при разных жесткостных характеристиках здания

l, м	$\delta_{к.ст.},$ мм	$\delta_{к.ст.},$ мм	Изгибающие моменты в элементах покрытия, кН*м				Изгибающие моменты в элементах фундамента, кН*м			
			M_x		M_y		M_x		M_y	
			max	min	max	min	max	min	max	min
4	200	200	13,28	-16,04	3,50	-5,49	7,84	-6,83	1,60	-1,83
4	300	200	13,26	-16,13	6,18	-5,57	7,61	-6,59	1,79	-1,78
4	400	200	13,25	-16,19	7,32	-5,62	7,43	-6,41	1,94	-1,74
6	200	200	40,00	-38,82	13,45	-13,50	10,33	-8,69	2,74	-2,39
6	300	200	39,88	-38,66	20,75	-13,59	10,08	-8,42	2,24	-2,34
6	400	200	39,84	-38,60	23,98	-13,64	9,92	-8,23	2,25	-2,29
8	200	200	80,62	-63,94	31,82	-25,57	14,50	-10,85	6,23	-2,98
8	300	200	79,39	-62,76	45,09	-25,84	14,09	-10,49	2,99	-2,91
8	400	200	78,93	-62,27	50,89	-25,96	13,89	-10,21	2,93	-2,85
12	200	200	161,91	-100,9	90,01	-72,97	23,37	-16,49	17,70	-4,36
12	300	200	153,16	-94,83	115,54	-73,55	22,06	-15,51	7,27	-4,14
12	400	200	149,81	-92,47	125,77	-73,80	21,55	-14,86	4,56	-3,99
24	200	200	147,96	-83,06	234,29	-198,63	30,24	-1,17	46,25	-1,21
24	300	200	129,52	-73,00	261,77	-181,59	26,97	-1,63	16,19	-3,77
24	400	200	123,29	-69,84	272,50	-176,08	25,93	-2,40	6,85	-7,75

Таблица 2

Значения внутренних усилий в продольных стенах, взаимодействующих с грунтом, при разных жесткостных характеристиках здания

l, м	$\delta_{н.ст.}$, мм	$\delta_{вн.ст.}$, мм	Изгибающие моменты в продольных стенах, граничащих с грунтом, кН*м				Изгибающие моменты в продольных стенах, которые не граничат с грунтом, кН*м			
			M_x		M_y		M_x		M_y	
			max	min	max	min	max	min	max	min
4	200	200	1,94	-2,37	2,11	-9,04	2,65	-1,94	9,00	-2,67
4	300	200	2,28	-3,87	4,11	-12,76	4,42	-2,37	13,39	-4,03
4	400	200	3,30	-5,26	6,06	-14,40	5,99	-3,39	15,31	-5,59
6	200	200	4,20	-5,56	2,73	-23,37	5,81	-4,62	23,34	-3,56
6	300	200	4,66	-8,03	4,16	-32,99	8,55	-5,23	34,12	-3,96
6	400	200	5,44	-9,08	5,89	-37,35	9,71	-6,45	38,80	-5,30
8	200	200	6,79	-10,23	3,14	-45,53	10,58	-7,65	45,78	-5,74
8	300	200	7,39	-14,37	4,57	-62,85	15,06	-8,82	64,78	-4,02
8	400	200	8,41	-16,19	5,43	-70,62	16,93	-9,76	72,69	-4,63
12	200	200	11,25	-23,16	5,74	-109,52	23,76	-12,87	110,96	-13,85
12	300	200	11,89	-30,23	4,90	-142,04	31,38	-14,28	146,17	-4,16
12	400	200	13,69	-33,21	5,22	-156,12	34,24	-15,52	159,62	-3,96
24	200	200	15,09	-52,38	10,68	-259,79	53,69	-17,07	265,41	-32,83
24	300	200	14,82	-59,77	3,65	-296,86	61,87	-15,09	306,00	-2,56
24	400	200	12,82	-62,53	4,78	-311,65	64,43	-12,36	318,93	-3,01

Таблица 3

Требуемое количество арматуры в зависимости от шага поперечных стен и толщины наружных стен заделанного здания

Шаг поперечных стен, м	Толщина наружных стен, мм	Расход арматуры, м2					
		Покрытие	Фун-т	Прод. стена-грунт	Прод. стена открытая	Попер. стены	Всего
4	200	0.140638	0.209102	0.031026	0.03051	0.126026	0.537302
	300	0.140752	0.208304	0.039761	0.039354	0.127904	0.556075
	400	0.14132	0.19754	0.06062	0.060201	0.124359	0.58404
6	200	0.194019	0.211816	0.032597	0.032973	0.113173	0.584578
	300	0.194764	0.209988	0.047033	0.046705	0.113664	0.612154
	400	0.19477	0.20837	0.061687	0.061176	0.114473	0.640476
8	200	0.287528	0.214242	0.037119	0.038809	0.112563	0.690261
	300	0.283702	0.2133	0.050224	0.050364	0.113452	0.711042
	400	0.284472	0.210194	0.063572	0.063129	0.117916	0.739283
12	200	0.569584	0.23383	0.057675	0.064942	0.129232	1.055263
	300	0.55083	0.224392	0.066714	0.069521	0.122241	1.033698
	400	0.54675	0.21897	0.075082	0.075209	0.119726	1.035737
24	200	1.118862	0.324376	0.150144	0.182569	0.126244	1.902195
	300	1.048973	0.291034	0.122324	0.130044	0.108624	1.700999
	400	1.03695	0.272598	0.117151	0.116081	0.101874	1.644654

Из табл. 3 видно, что в сравнении с шагом поперечных стен 4 м, наибольший расход арматуры наблюдается в элементах покрытия (в 8 раз), в продольных стенах (почти в 5 раз), а также в фундаментах (в 1,5 - 2 раза). Расход бетона при этом, а, следовательно, и объем бетонных работ уменьшаются в 3,5 раза.

Для выбора наиболее рационального конструктивного решения заглубленного здания выполнен стоимостной анализ рассмотренных вариантов по материалу. Техничко-экономическое сравнение рассчитываемых вариантов выполнено исходя из расчета общей стоимости арматуры, бетона и бетонных работ. В расчетах приняты: стоимость бетона 460 грн/м³, арматуры 3220 грн/т (по состоянию на 01.02.2012 г.).

На рис. 2 приведен график изменения стоимости арматуры, бетона и общей стоимости от шага поперечных стен заглубленного здания.

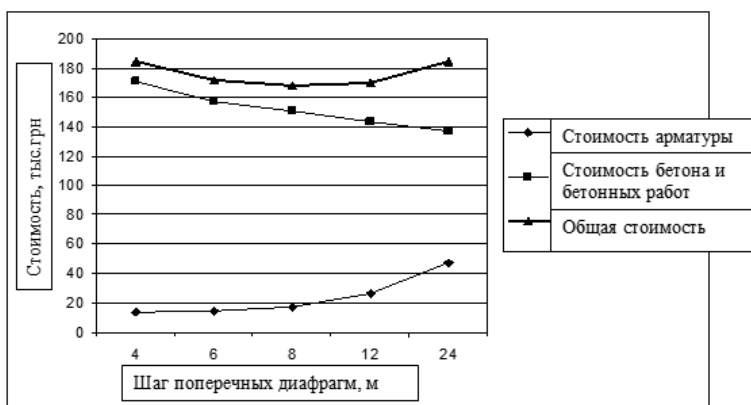


Рис. 2. График зависимости стоимости арматуры, бетона, бетонных работ и общей стоимости бетона и арматуры от шага поперечных диафрагм

Анализ данных графика (рис. 2) свидетельствует о том, что рациональным вариантом заглубленного здания, с точки зрения общей стоимости, является вариант с толщиной наружных и поперечных стен 200 мм и шаге поперечных стен (диафрагм) 8 м.

Выводы.

1. Для выбора наиболее рационального конструктивного решения заглубленного здания, а также для анализа влияния пространственной жесткости здания на характер напряженно-деформированного состояния конструкций заглубленного здания рассмотрены варианты здания с различной толщиной наружных стен (200, 300 и 400 мм) и шаге поперечных внутренних стен толщиной 200 мм (4, 6, 8, 12 и 24 м).

2. Расчеты выполнялись на основе разработанных пространственных моделей заглубленного здания, в которых учитывалась совместная работа конструкций здания с грунтовым основанием.

3. В результате стоимостного анализа рассмотренных вариантов конструктивного решения заглубленных зданий установлено, что наиболее рациональным является вариант, в котором толщина наружных стен заглубленного здания составляет 200 мм, толщина и шаг поперечных стен составляют, соответственно, 200 мм и 8 м при классе бетона С 16/20.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Энерго- и технико-экономическая эффективность многофункциональных противополозных заглубленных зданий / Н.В. Савицкий, И.И. Куличенко, В.И. Большаков, А.Э. Гуслистая, Т.Д. Никифорова // Theoretical Foundations of Civil Engineering – VIII Ed. by W. Szczesniak, OW PW Warsaw 2003, pp. 235-240.
2. Эффективность локального утепления заглубленных зданий / Куличенко И.И, Савицкий Н.В., Никифорова Т.Д., Гуслистая А.Э.// Сб. научн. тр. ПГАСА. Вып.25.- Дн-ск: ПГАСА, 2003.- С.47-51.
3. Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В., Арбузова О.А. Учет кинетики сульфатной коррозии бетона при проектировании заглубленных зданий. // Сб. научн. тр. ПГАСА: Строительство, материаловедение, машиностроение. - Вып. 50, - Дн-ск, ПГАСА, 2009.- С.389-397.
4. Особенности расчета конструкций заглубленных сооружений / Савицкий Н.В., Гуслистая А.Э., Куличенко И.И., Никифорова Т.Д., // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. Том. 1. - Київ, НДІБК 2005. - С. 273-277.
5. Инженерная методика расчета прочности и деформаций железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом сульфатной коррозии бетона /Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В., Матюшенко И.Н. и др. / Сб. научн. тр. ПГАСА: Строительство, материаловедение, машиностроение. - Вып. 56, - Дн-ск, ПГАСА, 2010.- С.299-305.
6. Гуслиста Г.Е. Методика спільного статичного розрахунку системи «споруда – ґрунтовий масив» для будівель, розташованих на схилах // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. ПГАСА. – Выпуск №56: «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения». – Днепрпетровск: ПГАСА, 2010. – С. 128 – 137.
7. Энергоэффективность размещаемых на склонах и заглубленных зданий/ Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В.//Сб. научн. тр. «ПГАСА: Строительство, материаловедение, машиностроение. - Вып. 60, - Дн-ск, ПГАСА, 2011.- С.124-127.
8. Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В. Научные основы и методы расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий /Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 61, - Дн-ск, ПГАСА, 2011.- С.286-292.