УДК 624.07

Оценка надёжности силосного корпуса

Туров А.И.

Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

Приведены результаты обследования железобетонных конструкций силосного корпуса. Дана оценка технического состояния и надёжности каркаса сооружения, приведены рекомендации по эксплуатации сооружения. Выполнена проверка прочности фундаментной плиты.

Ключевые слова: СИЛОСНЫЙ КОРПУС, ОБСЛЕДОВАНИЕ, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ, НАДЁЖНОСТЬ, ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА, ПРОЧНОСТЬ

Введение

Выполнен анализ результатов технического обследования несущих и ограждающих конструкций силосного корпуса, расположенного на территории Серышевского заготовительного участка в пгт. Серышево Амурской области. Выполнена проверка прочности фундаментной плиты силосного корпуса элеватора. Здание элеватора возведено в 1973 г. по типовому проекту 702-2 и с учётом типового проекта 702-19.

В настоящее время в Амурской области интенсивно развивается производство сои и зерновых культур. В г. Белогорске, который находится в непосредственной близости от пгт. Серышево, построен комплекс по глубокой переработке сои – маслоэкстракционный завод.

Возникает необходимость в увеличении числа ёмкостей для сохранности урожая.

Учитывая вышесказанное, представляется, что реконструкция силосного корпуса является на сегодняшний день актуальной задачей.

Целью проведения обследования силосного сооружения является определение соответствия безопасности здания элеватора требованиям Федерального закона №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1], действующей нормативной документации по обеспечению безопасной эксплуатации зданий и сооружений и определение допустимого срока их дальнейшей эксплуатации [2, 3, 4].

Элеватор для хранения урожая сои и зерновых состоит из шести силосных корпусов (№№1-6), рабочего здания РЗС-6х170, а также зерносушилки, приемных устройств зерна с автотранспорта и других производственных и вспомогательных сооружений.

Корпуса элеватора рассчитаны на хранение до семидесяти четырёх тысяч тонн зерна или соевых бобов. В данное время три силосных корпуса находятся в законсервированном состоянии. Ёмкость действующих корпусов составляет 33,6 тыс. т зерна. Элеватор осуществляет приемку, подработку, хранение и отгрузку заказчикам различного зерна: пшеницы, ржи, ячменя, сои и других культур.

Серышево относится ко второму снеговому району (нормативное значение снеговой нагрузки составляет 1,0 кПа) и ко второму ветровому району (нормативное значение ветрового давления составляет 0,3 кПа).

Коэффициент надёжности для II-го уровня ответственности, согласно ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [5]: 1. Сейсмичность площадки – 6 баллов.

Конструктивное решение

Ввод элеватора в эксплуатацию осуществлялся в период с 1974 по 1980 годы.

Комплекс элеватора состоит из блока шести силосных корпусов типа СКС-3-60 с размерами 18х30х36,6 м и рабочего здания.

Фундаментом силосных корпусов является монолитная фундаментная плита с монолитными железобетонными подколонниками размерами в плане 1,5х1,5 м. Высота сечения фундаментной плиты – 500 мм. Общая высота фундаментной плиты с подколонниками составляет 1050 мм. Под фундаментной плитой устроена подготовка из уплотненного крупнозернистого песка высотой 1200 мм.

Выполнены инженерно-геологические изыскания, согласно которым грунты в основании представлены суглинками тугопластичными, песками мелкими и песками средней крупности. Уровень грунтовых вод находится на глубине 4,6 м от поверхности земли.

Возможно подтопление площадки поверхностными водами.

Подсилосные колонны силосных корпусов выполнены по серии 3.702-1 вып.2, установлены в подколонники и замоноличены. Высота колонн подсилосного этажа составляет 6 м. Стены силосов выполнены из объёмных элементов СОГ с размерами 3х3 м по серии 3.702-1 вып.3, угловых и плоских панелей, соединяемых на болтах. Высота стеновых элементов 1,2 м. Количество стеновых элементов по высоте – 25 шт. Размещение элементов СОГ в плане – 6х10 шт. Каркас надсилосных этажей силосных корпусов элеватора – одноэтажный с двухпролётными рамами, с железобетонными балками по серии ПК 01-115, опирающимися шарнирно на колонны. Колонны каркаса надсилосного этажа имеют сечение 300х300 мм и консоли для опирания балок. Высота этих колонн – 4,8 м. Плиты покрытия – ребристые 1,5х6 м, высотой 300 мм по серии 1.465-7 вып. 3. Стеновое ограждение – из керамзитобетонных навесных панелей для неотапливаемых зданий. Высота надсилосного этажа в коньке – 4,5 м и по стене – 3,8 м [6].

Анализ результатов технического обследования силоса

Анализ результатов технического обследования несущих и ограждающих конструкций силоса показал, что общее техническое состояние фундаментной плиты оценивается как ограниченно работоспособное, но требующее выполнения водозащитных мероприятий по устранению проникновения атмосферных осадков в грунты основания фундаментов. Также в процессе обследования обнаружено отслоение лещадок бетона в фундаментной плите, скопление сточных вод в шурфах и отсутствие отмостки в частях сооружения.

При обследовании капителей колонн подсилосного этажа обнаружены вертикальные трещины с шириной раскрытия более 0,45 мм. В углах капителей имеются сколы и отслоение защитного слоя бетона, щели в местах сопряжения колонн и подсилосных воронок.

Состояние колонн с капителями оценивается как недопустимое (неработоспособное). Состояние плит покрытия переходов оценивается как ограниченно работоспособное, а состояние подсилосных воронок оценивается как работоспособное [2].

Возникновение дефектов и повреждений капителей колонн подсилосного этажа происходит, в основном, в периоды эксплуатации силосного корпуса в результате первичных перераспределений усилий от загрузки сил. При полном загрузке силосов про-

исходят максимальные деформации растяжения арматуры горизонтальных сеток косвенного армирования капителей с шириной раскрытия трещин более 0,45 мм. Эти трещины полностью не закрываются после разгрузки силосов, так как арматура получила неупругие (пластические) деформации. Вертикальные трещины в капителях образуются из-за постоянного удлинения и укорочения горизонтальной арматуры сеток капителей при загрузке и разгрузке силосных банок соевыми бобами. Трещины постепенно увеличиваются и достигают больших значений (0,45 мм – 1 мм и более). В дальнейшем увеличение трещин приводит к сколам бетона по углам и (или) краям капителей.

Предварительно проведённый поверочный прочностной анализ показал почти двухкратный запас прочности капителей. Поэтому представляется возможным в дальнейшем усилить капители металлическими обоймами с заделкой всех горизонтальных и вертикальных трещин, швов и пустот специальными составами.

Во всех конструкциях, в которых были обнаружены серьезные дефекты, было выполнено инструментальное обследование. Прочностные характеристики исследованных конструкций приведены в таблице 1.

Таблица 1. Участки и места проведения испытаний

№ п/п	Наименование конструктивного элемента силосного корпуса	Материал элемента	Среднее значение прочности бетона, МПа	Марка прочности бетона на сжатие (класс прочности)
1.	Плита перекрытия	Железобетон	33,9	M350 (B25)
2.	Плита перекрытия	Железобетон	25,7	M250 (B20)
3.	Плита перекрытия	Железобетон	19,2	M200 (B15)
4.	Колонна подсилосного этажа	Железобетон	32,1	M300 (B25)
5.	Колонна подсилосного этажа	Железобетон	33,5	M300 (B25)
6.	Колонна подсилосного этажа	Железобетон	36,1	M300 (B25)
7.	Колонна надсилосного этажа	Железобетон	34,5	M300 (B25)
8.	Колонна надсилосного этажа	Железобетон	35,0	M300 (B25)
9.	Колонна надсилосного этажа	Железобетон	33,9	M300 (B25)
10.	Фундаментная плита	Железобетон	44,1	M400 (B30)
11.	Фундаментная плита	Железобетон	30,2	M300 (B22,5)
12.	Фундаментная плита	Железобетон	27,4	M250 (B20)

Проводилась дефектоскопия трещин для выявления степени повреждения элемен-

тов методом неразрушающего контроля с помощью микропроцессорного измерителя прочности бетона «УК1401» [7]. Диаметр и количество стержней арматуры, а также толщина защитного слоя бетона определялись методом неразрушающего контроля с помощью микропроцессорного измерителя защитного слоя бетона «ИПА-МГ4» [8].

Оценка надёжности конструкций силосных корпусов

Влияние повреждений на надёжность конструкций оценивается посредством уменьшения общего нормируемого коэффициента надёжности (запаса) γ_0 [3].

Относительная надёжность конструкции при эксплуатации y определяется по формуле (1):

$$y = \gamma / \gamma_0, \quad (1)$$

где γ – фактический коэффициент надёжности конструкции, с учетом имеющихся повреждений.

Поврежденность конструкции ε определяется по формуле (2):

$$\varepsilon = 1 - y \quad (2)$$

Значения y и ε для различных категорий технического состояния конструкций приведены в таблице 1 [3].

Общая оценка поврежденности сооружения производится по формуле (3):

$$\varepsilon = \frac{\sum \alpha_i \cdot \varepsilon_i}{\sum \alpha_i}, \quad (3)$$

где: ε_i – максимальная величина повреждений отдельных видов конструкций;

α_i – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

Коэффициенты значимости принимаются: для колонн – $\alpha=8$, для балок – $\alpha=4$, для плит – $\alpha=2$, для стен и фундаментов – $\alpha=3$, для прочих конструкций – $\alpha=2$.

В результате оценки поврежденности конструкций силосного корпуса приняты следующие значения поврежденности ε : колонны надсилосные – $\varepsilon=0,1$, колонны подсилосных этажей – $\varepsilon=0,34$, балки покрытия надсилосные – $\varepsilon=0,2$, плиты перекрытия надсилосные – $\varepsilon=0,2$, плиты перекрытия надсилосных переходов – $\varepsilon=0,2$, фундаменты – $\varepsilon=0,3$, подсилосные воронки – $\varepsilon=0,1$, стены силосного корпуса – $\varepsilon=0,1$.

Тогда общая поврежденность силосного корпуса определяется по формуле (3):

$$\varepsilon = \frac{(3 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,34 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 8 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2)}{(3 + 8 + 2 + 3 + 3 + 8 + 4 + 2)} = \frac{6,62}{33} = 0,20.$$

Согласно таблице 1 [3], техническое состояние силосного корпуса может быть отнесено к 3-й категории ($\varepsilon = 0,15$) или к 4-й категории ($\varepsilon = 0,25$) технического состояния.

Для категории 3 техническое состояние сооружения оценивается как не совсем удовлетворительное, ограниченно работоспособное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности. Для продолжения нормальной эксплуатации требуется ремонт по устранению повреждённых конструкций.

Для категории 4 техническое состояние сооружения оценивается как неудовлетворительное (неработоспособное) состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкций. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. Эксплуатация возможна только после ремонта и усиления.

Таким образом, делаем предварительное заключение о неудовлетворительном (неработоспособном) состоянии конструкций силосного корпуса и о необходимости проведения ремонта сооружения и усиления капителей колонн подсилосного этажа.

Результаты оценки остаточной несущей способности

Расчет остаточного ресурса проводится на основании суммарной оценки технического состояния конструкций здания в соответствии с «Рекомендациями по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [3].

Состояние конструкций оценивается в соответствии с таблицей 2.

По данным визуального обследования характерных повреждений конструкций сооружения, несущие конструкции имеют разные величины повреждений.

Результаты оценки остаточной несущей способности

Расчет остаточного ресурса проводится на основании суммарной оценки технического состояния конструкций здания в соответствии с [3]. Степень надежности и остаточный ресурс элементов конструкции приведены ниже (табл. 2).

Прогнозирование вероятности аварий

Аварии зданий и сооружений возникают, в основном, из-за грубых ошибок и просчётов, допущенных при разработке проектов, строительстве и эксплуатации. В случае

Туров А.И. Оценка надёжности силосного корпуса
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

неблагоприятного прогноза назначаются дополнительные меры по проверке качества проектирования, строительства и эксплуатации с целью устранения обнаруженных дефектов.

Таблица 2. Остаточный ресурс конструктивных элементов

Срок эксплуатации, t_f , лет	Наименование конструкций	Общая поврежденность, ξ	Относительная надёжность		Постоянная износа, λ	Срок эксплуатации до кап. ремонта, в годах, $t_{кр}$	Срок эксплуатации до аварийного состояния, t_a	Остаточный ресурс, лет, O_p
			γ	$-\ln \gamma$				
47	Фундаменты	0,3	0,70	0,357	0,0075	21	29	Исчерпан
	Колонны подсилосных этажей	0,34	0,66	0,416	0,0088	18	25	Исчерпан
	Плиты перекрытия переходов	0,2	0,81	0,210	0,0044	36	50	3
	Подсилосные воронки	0,1	0,9	0,105	0,0022	72	100	53
	Силоса (стены)	0,1	0,9	0,105	0,0022	72	100	53
	Колонны надсилосные	0,1	0,9	0,105	0,0022	72	100	53
	Балки покрытия надсилосные	0,2	0,81	0,210	0,0044	36	50	3
	Плиты перекрытия надсилосные	0,2	0,81	0,210	0,0044	36	50	3

Определение вероятности аварии производим на основании анализа условий, влияющих на надёжность сооружений, используя экспертные оценки.

Каждое условие оценивается по балльной шкале и имеет 5 вариантов ответа:

- 1 (неприемлемо);
- 2 (неудовлетворительно),
- 3 (удовлетворительно),
- 4 (хорошо),
- 5 (отлично).

Условную надёжность здания или сооружения β определяют по формуле:

$$\beta = \sum P_i / 5, \quad (9)$$

где P_i – удельная оценка надёжности, получаемая умножением удельного веса условия на оценку в баллах.

Полученные значения для сооружения сравниваем со шкалой оценок надёжности по таблице 17 [3]. Шкала оценки надежности и вероятности аварии зданий и сооружений при экспертных оценках приведена в таблице 3.

Таблица 3. Шкала оценки надежности и вероятности аварии зданий и сооружений при экспертных оценках

Условная надёжность β	Вероятность (частота) аварий в год	Словесная шкала оценки надёжности
1	10^{-6}	Хорошая
0,8	10^{-5}	Удовлетворительная
0,6	10^{-4}	Неудовлетворительная
0,4	10^{-3}	Недопустимая

Условная надежность силоса определяется по формуле (9):

$$\beta = \sum P_i / 5 = 2,95 / 5 = 0,59$$

В соответствии с таблицей 4, условная надежность $\beta = 0,59$ и вероятность аварии в год составляет $Q = 10^{-4}$, что говорит о неудовлетворительной надежности сооружения.

Таблица 4. Экспертная оценка надежности силоса

N п/п	Условие надёжности	Удельный вес условия	Оценка в баллах					Удельная надежность	Обоснование принятого решения	
			1	2	3	4	5			
Качество проектирования										
1	Соответствие расчетной модели сооружения и нагрузок в реальной работе	0,05			3			0,15	Недостаточно в нормах был изучен коэффициент давления при выпуске сыпучего материала	
2	Апробированность конструктивного решения	0,05				4		0,2	Имелся опыт строительства, аналогичных сооружений	
3	Учет требований нормативных документов	0,05				4		0,2	Типовой проект	
4	Квалификация проектировщиков	0,1				4		0,4	Типовой проект	
5	Наличие достаточного времени и средств на проектирование	0,05				4		0,2	Типовой проект	
Качество строительства										
6	Соответствие материалов и конструкции проекту	0,1			3			0,3	Допускались перерывы в бетонировании. Укладка арматуры проводилась не по шаблону	

Туров А.И. Оценка надёжности силосного корпуса
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

N п/п	Условие надёжности	Удельный вес условия	Оценка в баллах					Удельная надежность	Обоснование принятого решения
			1	2	3	4	5		
7	Апробированность методов строительства	0,05			3			0,15	Организация не имела опыта строительства силосов
8	Контроль качества строительства	0,1			3			0,3	Качество строительства проверялось нерегулярно
9	Квалификация кадров	0,1			3			0,3	Строительство велось неквалифицированными кадрами
10	Достаточность времени и средств на строительство	0,05			3			0,15	Строительство силоса велось в сжатые сроки
11	Отсутствие отступлений от норм и проекта	0,1		2				0,2	Не была проведена пробная загрузка банок перед эксплуатацией
Качество эксплуатации									
12	Отсутствие завышения проектных нагрузок	0,05		2				0,1	Давление воздуха при пневморазгрузке не контролировалось
13	Контроль за исправностью сооружения и оборудования	0,05		2				0,1	То же
14	Соблюдение правил эксплуатации	0,1		2				0,2	Проводилась эксплуатация силоса с опасными повреждениями
		$\Sigma=1$						2,95	

Примечание: 1 – неприемлемо, 2 – не удовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Вывод

В соответствии с результатами расчета, остаточный ресурс сооружения исчерпан.

При проведении экспертизы промышленной безопасности на строительные конструкции здания элеватора Серышевского заготовительного участка установлено, что сооружение находится в неработоспособном состоянии. Надёжность сооружения в целом оценивается как неудовлетворительная. Остаточный ресурс фундаментов и колонн подсилозного этажа исчерпан. Требуется усиление конструкций здания элеватора.

Проверка прочности фундаментной плиты

Фундаменты под здания элеватора выполнены в виде монолитных плит с железобетонными подоконниками размерами 1,5х1,5 м. Высота сечения фундаментных плит –

500 мм. Общая высота фундаментов – 1050 мм (высота подколонников – 550 мм). Под фундаментами устроена подготовка из уплотненного крупнозернистого песка слоем 1200 мм. Класс бетона фундаментной плиты – В20. Защитный слой бетона $a=3,5$ см, $a^l=3,0$ см.

Армирование фундаментной плиты в соответствии с ТП 702-2.

Для силосных корпусов армирование фундаментной плиты соответствует армированию в первых трёх пролётах представленной фундаментной плиты для рабочего здания.

Верхнее армирование фундаментной плиты (согласно типовому проекту 702-2).

Верхнее армирование в средней части фундаментной плиты представлено сетками С-11 (Ø12 А-III, шаг 250 мм), а в крайней части – сетками С-9 (Ø14 А-III, шаг 200 мм – в направлении цифровых осей и Ø12 А-III, шаг 200 мм – в направлении буквенных осей) и С-10 (Ø14 А-III, шаг 250 мм в обоих направлениях).

Нижнее армирование фундаментной плиты (согласно проекту 702-2).

Нижнее армирование в средней части фундаментной плиты представлено сетками С-4 (Ø16 А-III, шаг 200 мм – в направлении цифровых осей и Ø12 А-III, шаг 250 мм), а в крайней части – сетками С-1 (Ø12 А-III, шаг 200 мм – в обоих направлениях) и С-2 (Ø12 А-III, шаг 250 мм – в направлении буквенных осей и Ø16 А-III, шаг 200 мм – в направлении цифровых осей) и С-3: Ø16 А-III, шаг 200 в обоих направлениях.

Вертикальная арматура подколонников (башмаков) – 8 Ø10 А-I.

Вертикальное армирование фундаментной плиты – каркасы пространственные КП-1 (8 Ø10 А-I, каркасы КП-1 располагаются с шагом 1500 мм в обоих направлениях).

Фактическая верхняя арматура фундаментной плиты – согласно обследованию фундаментной плиты.

В верхней части фундаментной плиты арматура расположена в два ряда.

Первый сверху ряд: Ø6 А-III, шаг 150x150 мм.

Второй сверху ряд: Ø12 А-III, шаг 100x150 мм (100 мм – в направлении короткой стороны плиты).

Фактическая площадь верхней арматуры в плите $A_s = 1,98 + 11,31 = 13,29$ см².

Фактическая площадь нижней арматуры фундаментной плиты – согласно обследованию фундаментной плиты.

В нижней части фундаментной плиты арматура расположена в один ряд. Эта арматура расположена в виде сетки из арматуры Ø12 А-III, шаг 100x150 мм (100 мм – в направлении короткой стороны плиты).

Фактическая площадь нижней арматуры в плите $A_s = 11,31 \text{ см}^2$.

Модель силосного корпуса

Для выполнения статического расчета силосного корпуса в программном комплексе «МОНОМАХ-САПР» была построена геометрическая модель сооружения с заданием в ней фактически принятых проектом элементов, по геометрическим сечениям и размерам, с заданными материалами. Прочность бетона конструкций принята по результатам обследования конструкций.

При проектировании здания была осуществлена стыковка здания с фундаментной плитой с моделью грунта. Модель грунта создана в программе «Грунт» и включает реальные характеристики грунта, мощности слоев и отметки скважин в соответствии с «Отчетом по геологическим изысканиям».

На все элементы приложены нормативные нагрузки, согласно СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия [9]. Коэффициент надежности здания по назначению принят $\gamma_n = 1$.

Расчет здания выполнен совместно с грунтовым основанием.

Расчет выполнен по программному комплексу «МОНОМАХ-САПР» с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР.

После произведенного расчета всего силосного корпуса выполнен МКЭ расчет, в ходе которого сформирована расчетная конечно-элементная схема с учетом заданных параметров.

По результатам расчета были получены сочетания усилий (PCY) из основного сочетания нагрузок, по которым далее выполнены прочностные и жесткостные проверки, подбор сечений и армирования железобетонных элементов.

Расчет каркаса выполнен по программе «МОНОМАХ-САПР», поэтому вся совокупность действующих нагрузок на каркас разбита на отдельные виды загрузений, из которых после расчета программой сформированы расчетные сочетания усилий в заданных сечениях элементов. Значения всех нагрузок заданы нормативными, так как программой автоматически определяются расчетные нагрузки, в соответствии с коэффициентами надежности по нагрузке, которые приняты для постоянных нагрузок – 1,1; для временных – 1,3, для ветровых и снеговых нагрузок – 1,4.

Окончательно на плиту (табл. 5) прикладывалась постоянная нормативная нагрузка: $g^H = 2048/1,1 = 1862 \text{ кгс/м}^2 = 1,862 \text{ тс/м}^2$.

Снеговая нормативная нагрузка на покрытие $s^H=100$ кгс/м². Собственный вес конструкций (постоянная нагрузка) учитывается программой автоматически.

Постоянная нормативная нагрузка от кровли принята 150 кгс/м². Постоянная нормативная нагрузка от пола надсилосного этажа принята 100 кгс/м².

Временная нормативная нагрузка на перекрытие надсилосного этажа принята 200 кгс/м².

Вертикальная расчетная нагрузка от давления зерна на воронки силоса:

$$q = \gamma \times H \times \gamma_f \times \gamma_c = (0,8 \text{ т/м}^3) \times 30 \times 1,3 \times 0,9 = 28,08 \text{ тс/м}^2.$$

Вертикальная нормативная нагрузка от давления зерна на воронки силоса:

$q = 28,08 / 1,1 = 26,18$ тс/м² – эта нагрузка прикладывалась к воронкам как постоянная нагрузка.

Таблица 5. Нагрузки, действующие на фундаментную плиту от пола и засыпки

№ п/п	Наименование нагрузки и ее расчет	Нормативная нагрузка кгс/м ²	Коэффициент перегрузки γ_f	Коэффициент надежности γ_n	Расчетная нагрузка кгс/м ²
1	Асфальтобетон $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3 - 25 \text{ мм}$	45	1,3	1	59
2	Подготовка из бетона $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3 - 100 \text{ мм}$	240	1,3		312
3	Засыпка грунтом (песок, ПГС); $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3 - 650 \text{ мм}$	1105	1,3		1437
	Итого постоянной	1390	-		1808
4	Временная	200	1,2		240
	Всего	1590	-		2048

Выполнен МКЭ-расчет модели, и полученные результаты экспортированы в программу «ПЛИТА», где выполнен подбор арматуры фундаментной плиты.

По серии 3.702.1–4.0-02 расчет фундаментной плиты рекомендуется проводить для двух загрузений:

1. Полное загрузение всех силосных банок зерном (при этом действие ветра не учитывается).

$N=19200$ т – для расчета фундаментной плиты; $M=0$; $q = 19200 / (19,6 \times 31,6) = 31,0$ тс/м².

2. Частичное загрузеие 2/3 силосных банок зерном (сплошной полосой, начиная от края, при этом учитывается действие ветровой нагрузки).

$N=14500$ т – для расчета фундаментной плиты; $M=31900$ тс·м. При этом по серии давление на грунт (отпор грунта): $P_{\max} = 35,9$ тс/м² и $P_{\min} = 9,8$ тс/м².

ТП 702-2 рекомендует рассчитывать фундаментную плиту как перевернутое безбалочное перекрытие.

Расчетная модель силосного корпуса представлена на рис. 1.

Выполнен расчёт фундаментной плиты как плиты на линейно-деформируемом основании с коэффициентом постели C_1 . При этом, рассчитывалось всё сооружение совместно с грунтом. Далее выполнялся расчёт в подпрограмме ПЛИТА.

Полученные в результате расчёта некоторые данные представлены на рис. 2-10.

На рис. 2 представлена модель фундаментной плиты с приложенными к ней нагрузками от веса пола и засыпки. Нагрузка от собственного веса надсилосных конструкций и нагрузка от сыпучего заполнителя силосных банок передаётся на фундаментную плиту через колонны подсилосного этажа.

На рис. 3 представлена мозаика распределения коэффициента постели грунта C_1 под фундаментной плитой, полученная в программе ГРУНТ, при рассмотрении совместной работы силосного корпуса с фундаментной плитой. Коэффициент постели C_1 в среднем изменялся в пределах 600-900 тс/м³.

На рис. 4 представлена мозаика распределения осадки фундаментной плиты. Максимальная осадка фундаментной плиты составила 6,29 см.

На рис. 5 представлена мозаика распределения давления на грунт. Величина давления на грунт изменялась в среднем в пределах 30-50 тс/м².

На рис. 6 представлена мозаика распределения оптимальной толщины фундаментной плиты, полученная из условия работы плиты на продавливание.

На рис. 7–10 представлено расчётное армирование фундаментной плиты.

На рис. 7 представлено требуемое по расчёту армирование верхней части фундаментной плиты в направлении оси X. Ось X направлена горизонтально.

На рис. 8 представлено требуемое по расчёту армирование верхней части фундаментной плиты в направлении оси Y. Ось Y направлена вертикально.

На рис. 9 и 10 представлено требуемое по расчёту армирование нижней части фундаментной плиты в направлении осей X и Y, соответственно.

Рис. 1. Расчетная модель силоса (полное загрузжение)

Рис. 2. Фундаментная плита. Сбор нагрузок на пол фундаментной плиты

Рис. 3. Коэффициент постели C_1

Рис. 4. Осадка плиты

Рис. 5. Давление на грунт

Рис.6. Оптимальная толщина плиты

Рис. 7. Расчётная верхняя арматура Ax

Рис. 8. Расчётная верхняя арматура A_y

Рис.9. Расчётная нижняя арматура Ах

Рис.10. Расчётная нижняя арматура Ay

Результаты расчёта

Вариант загрузки 1. Полное загружение.

Верхнее армирование фундаментной плиты.

По расчёту – верхняя арматура фундаментной плиты A_x – Ø12 А-III, шаг 200 мм.

$A_{sx} = 5,65 \text{ см}^2$ (в направлении оси X).

По расчёту – верхняя арматура фундаментной плиты A_y – Ø12 А-III, шаг 200 мм.

$A_{sy} = 5,65 \text{ см}^2$ (в направлении оси Y).

Фактическая принятая верхняя арматура фундаментной плиты:

В верхней части фундаментной плиты арматура расположена в два ряда.

Первый сверху ряд: Ø6 класса А-III, шаг 150x150 мм.

Второй сверху ряд: Ø12 класса А-III, шаг 100x150 мм (100 мм – в направлении короткой стороны плиты).

Фактическая площадь верхней арматуры в плите $A_s = 1,98 + 11,31 = 13,29 \text{ см}^2$.

Как видно из сравнения расчётной и фактически принятой арматуры, верхней арматуры в фундаментной плите достаточно.

Нижнее армирование фундаментной плиты.

По расчёту:

По низу основного поля плиты площадь сечения арматуры A_x и A_y – Ø8 – Ø10 А-III, шаг 200 мм. $A_{sx} = 5,65 \text{ см}^2$.

Под башмаками A_x и A_y – Ø12 – Ø14 А-III, шаг 200 мм. $A_{sx} = A_{sy} = 7,69 \text{ см}^2$.

Как видно из сравнения, нижней арматуры в фундаментной плите достаточно.

Вертикальная арматура подколонников (башмаков) – 8 Ø10 класса А-I.

Вертикальное армирование фундаментной плиты – каркасы пространственные КП-1 (8 Ø10 А-I, каркасы КП-1 располагаются с шагом 1500 мм в обоих направлениях).

Выполнен расчёт на продавливание башмаками фундаментной плиты. Прочность плиты на продавливание обеспечена.

Осадка фундаментной плиты составила 63 мм. Среднее давление в грунте под плитой составило 30-45 тс/м² (0,30-0,45) МПа.

Вариант загрузки 2 (частичное загружение на 2/3 силосных банок)

Расчёт фундаментной плиты как перевернутого безбалочного перекрытия.

Нижнее армирование фундаментной плиты

По расчёту: По низу фундаментной плиты арматура A_x и A_y – Ø8 – Ø10 А-III, шаг

200 мм.

Фактическая арматура: По низу фундаментной плиты арматура A_x : Ø12 А-III, шаг 150 мм. $A_{sx}=7,92 \text{ см}^2$ и A_y – Ø12 А-III, шаг 100 мм. $A_{sy}=11,31 \text{ см}^2$.

То есть по низу фундаментной плиты арматуры достаточно.

Верхнее армирование фундаментной плиты.

По расчету – верхняя арматура фундаментной плиты в основном поле A_x и A_y – Ø8 -10 класса А-III, шаг 200 мм.

В осях А-Б, 1-2 и 10-11 - верхняя арматура фундаментной плиты A_x и A_y – Ø12-14 А-III, шаг 200 мм. $A_s, \max=7,69 \text{ см}^2$.

Фактическая принятая верхняя арматура фундаментной плиты

В верхней части фундаментной плиты арматура расположена в два ряда.

Первый сверху ряд: Ø6 А-III, шаг 150x150 мм.

Второй сверху ряд: Ø12 А-III, шаг 100x150 мм (100 мм – в направлении короткой стороны плиты).

Фактическая площадь верхней арматуры в плите $A_s = 1,98+11,31 = 13,29 \text{ см}^2$.

Как видно из сравнения, верхней арматуры в фундаментной плите достаточно [10].

Вывод

Фактически принятой арматуры в фундаментной плите достаточно.

Заключение

В соответствии с результатами расчета, остаточный ресурс сооружения исчерпан.

При проведении экспертизы промышленной безопасности на строительные конструкции здания элеватора Серышевского заготовительного участка установлено, что сооружение находится в неработоспособном состоянии.

Надёжность сооружения в целом оценивается как неудовлетворительная.

Остаточный ресурс фундаментов и колонн подсилосного этажа исчерпан. Требуется усиление конструкций здания элеватора.

Представляется возможным сохранение несущей способности конструкций силосного корпуса с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, но с разработкой мер (проектных решений) по усилению железобетонных конструкций объекта и других мер по сохранению эксплуатационных свойств объекта. При разработке проекта по усиле-

нию следует организовать проведение работ по дальнейшему детальному обследованию технического состояния всех возведенных конструкций силосного корпуса по ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения [8]. Правила обследования и мониторинга технического состояния». В задачи детального обследования, по имеющимся актуальным данным, необходимо включить поиски наилучших вариантов усиления конструкций и приспособляемости корпуса под новые нагрузки и условия эксплуатации при предполагаемой реконструкции здания.

В результате проведённого прочностного расчёта установлено, что принятой рабочей арматуры в фундаментной плите достаточно, и прочность фундаментной плиты обеспечена. Необходимо выполнить отвод поверхностных вод от плиты, осуществить просушку бетона плиты и выполнить отмостку вокруг всего силосного корпуса.

Список использованных источников

1. Федеральный закон № 116 (№ 429)-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 08.12.2020. <https://docs.cntd.ru/document/9046058>.
2. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. Федер. нормы и правила в области промышленной безопасности: приказ Ростехнадзора № 538 от 14.11.2013 г. (с изм. на 28 июля 2016 года). – 2013. – 12 с.
3. Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам /АО ЦНИИ Промзданий. – М., 2001 г. – 40 с. <http://docs.cntd.ru/document/12000937>.
4. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Минрегион РФ, 2003. – 54 с.
5. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
6. Туров А.И. Реконструкция здания элеватора // Научные исследования как основа инновационного развития общества // Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции. (Уфа, 23 июля 2020 г.) – Уфа : Издательство: общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований". – Уфа, 2020. – С. 134-144. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43167069>
7. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Стандартинформ, 2015. – 23 с.
8. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2011. – 75 с.
9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.1985*.

10. Туров А.И. Опыт. Усиление конструкций силосного корпуса // АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – http://agroecoinfo.ru/STATYI/2020/3/st_323.pdf
=====

Цитирование:

Туров А.И. Оценка надёжности силосного корпуса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_403.pdf.
DOI: <https://doi.org/10.51419/20214403>.