

УДК 624.954

УРОКИ АВАРИЙ СТАЛЬНЫХ СИЛОСОВ И ИХ ФУНДАМЕНТОВ

LESSONS OF ACCIDENTS OF STEEL SILOS AND THEIR FOUNDATIONS

Бутенко Анатолий Анатольевич, ООО «ТРАНС СТРОЙ КОМПЛЕКС», г. Харьков, Кичаева О.В., к.т.н., доц. (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.М. Бекетова)

Butenko Anatolii Anatolievich, LLC Trans Stroj Komplex, Kichaeva O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

У статті розглянуті основні причини аварій сучасних силосів збільшених діаметрів і їх фундаментів. Вказано заходи для зниження ймовірності аварій з точки зору діючих норм. Також показана і обґрунтована необхідність наукового супроводу на всіх етапах життєвого циклу великих силосів.

Principal reasons of accidents of modern silos of large diameters and their foundations are considered in the article. Measures are indicated for the decline of probability of accidents in terms of operating norms. The necessity of scientific support is indicated and reasonable on all stages of life cycle of large silos.

Ключевые слова: стальные силосы; аварии; научное сопровождение; сложные инженерно-геологические условия

Keywords: steel silos; accidents; scientific support; difficult engineer-geological conditions

Вступлення. Развитие аграрного комплекса требует применения более эффективных систем хранения зерновых. С 2000-х гг. на рынок Украины и России вышли металлические силосы, технологии которых заимствованы из Америки и Европы. Данные сооружения составили конкуренцию и практически заменили железобетонные элеваторы благодаря своему основному

преимуществу, заключающемся в возведении элеваторов большой емкости в сжатые сроки.

Сборная конструкция силоса, состоящая из гофрированных листов и ребер жесткости, требует пристального внимания в силу того, что она больше подвергается негативным воздействиям, нежели её предшественник – железобетонный силос. Количество аварий стальных силосов обусловлено недостатком опыта их проектирования, строительства и эксплуатации, т.е. недостаточной изученностью различных аспектов.

Анализ последних исследований. До широкого распространения в Украине и России стальных силосов согласно [1], имеет место следующая статистика причин аварий (на 2002 г.):

- 1) недоработка норм проектирования – **4%** (0...10%);
- 2) неудачное проектное решение – **25,1%** (11...35%);
- 3) низкое качество материалов – **6%** (0...14,7%);
- 4) дефекты изготовления и монтажа – **48,3%** (38,8...65%);
- 5) неправильная эксплуатация – **15,7%** (7...25%);
- 6) прочие причины и сочетания – **0,3%** (0...2%).

Как видно из статистики, большая часть аварий обусловлена низким качеством изготовления и монтажа конструкций. Здесь приведены данные на 2002 г., когда применялись силосы преимущественно индивидуального изготовления. На сегодняшний же день большая часть силосов полносборная – конструкции изготавливаются на специализированных заводах и поставляются на строительную площадку комплектно. Таким образом, статистические данные относящиеся к изготовлению силосов на данный момент изменились в сторону уменьшения. При этом отметим, что аварии все-таки происходят достаточно часто. В качестве примера можно привести аварии, связанные с недостаточной несущей способностью силосов при действии климатических (рис. 1) и эксплуатационных (рис. 2) нагрузок. Данный фактор говорит о том, что следует уделять больше внимания комплектно поставляемым конструкциям и выполнять элементарную проверку соответствия изделия действующим нормам, несмотря на гарантии производителя.

Целью исследования анализ сложившейся ситуации, имеющей место при проектировании и эксплуатации силосов и поиск решений, направленных на безопасную эксплуатацию указанных конструкций.



Рис. 1. Недостаточная несущая способность силосов при действии снеговых нагрузок



Рис. 2. Недостаточная несущая способность силосов при действии эксплуатационных нагрузок

Изложение основного материала. Для снижения вероятности аварии требуется контроль на всех соответствующих этапах:

- 1) проектирование;
- 2) контроль качества применяемых материалов;
- 3) изготовление и монтаж конструкций;
- 4) эксплуатация силосов.

Наиболее сложным для контроля является этап проектирования, который занимает второе место среди основных причин аварий. Сегодня большинство заказчиков не готово вкладывать необходимое финансирование в проектирование и инженерные изыскания. Так, согласно тендерной политике, направленной на удешевление, происходит выбор проектировщика, предлагающего наиболее экономичный вариант. А наиболее экономичным зачастую оказывается тот вариант, в котором себестоимость снижена за счет сокращения объема и глубины проработки проекта. Некоторые проектировщики склонны к повторному применению решений, имеющих место при выполнении аналогичных проектов без соответствующих расчетов, проверок и корректировок.

У заказчика зачастую нет квалифицированного персонала для адекватной оценки и принятия проектных решений. Даже в случае выполнения экспертизы проекта, в ней не всегда уделяется должное внимание именно таким сложным конструкциям, как силосы.

Ответственность за конструкцию стального силоса несет изготовитель. Проектировщик лишь согласует климатические нагрузки и практически не участвует в проектировании стальной конструкции силоса. Зачастую проектировщик даже не принимает участие в выборе производителя и, соответственно, не знаком с конструктивными особенностями силоса. Конструкция стального силоса теперь рассматривается не как инженерное сооружение, а как оборудование, которое необходимо установить на запроектированный фундамент.

Ответственность проектировщика состоит в проектировании фундаментов и правильной посадке силосов на местности, включая вертикальную планировку и водоотведение. Для этого необходимо правильно оценить инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки, принять адекватное ситуации конструктивное решение фундаментов, выполнить расчет в соответствии с действующими нагрузками и воздействиями, отобразив это в чертежах.

Нагрузки четко указаны в [2] и регламентированы. Проектировщик просто должен учесть все нагрузки в указанном объеме. Геологические условия принимаются согласно результатов инженерно-геологических изысканий. Проектировщик также должен учесть возможные негативные процессы, происходящие при

сложных инженерно-геологических и/или гидрологических условиях. Объем необходимой проработки и расчетов основания и фундаментов указан в [3]. Однако конструкция фундамента, тип и расчетная схема в указанных документах оговорена весьма условно, и основная роль в принятии решения принадлежит проектировщику.

Важно выбрать не только эффективную конструкцию фундамента, но принять правильную расчетную модель основания, которая будет учитывать все особенности работы фундамента. Таким образом, требуется учитывать особенности деформированной схемы фундамента на грунтовом основании с учетом всех результатов и рекомендаций инженерно-геологических изысканий. Особенности напряженно-деформированного состояния системы «силос – фундамент – основание» в сложных инженерно-геологических условиях были изложены в [4].

Особое внимание следует уделять осадке силосов, регламентированной документом [2]. При осадке и деформации фундамента силос, ввиду совместности работы с фундаментом, также получает соответствующие деформации. При значительных и сверхнормативных осадках фундаментов в элементах стальных силосов возникают непроектные усилия, влекущие за собой срез соединений, потерю устойчивости элементов и, как правило, разрушение. В некоторых случаях аварии удастся избежать, вовремя зафиксировав деформации и осадки фундаментов проведением геодезического мониторинга и незамедлительно проведя работы по укреплению основания или усилению фундаментов.

Отметим, что усиление фундаментов не всегда эффективно. В некоторых случаях приходится прибегать к усилению оснований, что экономически не всегда целесообразно. Учитывая величину сжимаемой толщи сжатой грунта под фундаментом крупного силоса, логично оценивать объем усиливаемого грунтового массива и сложность технологии производства работ.

Специфика работы фундаментов силосов – это многократные циклы нагружения и разгрузки за короткий период времени. В случае замачивания грунтов или просто высокого уровня грунтовых вод работа фундамента напоминает работу поршневого насоса.

Рассмотрим результаты изучения грунтов основания под реальными аварийными фундаментами силосов, получивших

сверхнормативные осадки. Экспертами была разработана схема испытаний грунтов основания, направленная на определение параметров их конечной сжимаемости и способности к восстановлению объема после снятия нагрузки, т.е. определения параметров предельного упругого состояния. После чего был выполнен комплекс лабораторных исследований характеристик грунтов оснований фундаментов на конкретной площадке. Также было выполнено моделирование поведения грунтов оснований под фундаментами с переменными многократными статическими нагрузками. Испытания проводились на приборах системы «Гидропроект» КПр1 в водонасыщенном состоянии образцов нагрузкой до 0,2 МПа и последующей разгрузкой до 0,05 МПа в четырех (рис. 3) и трех циклах.

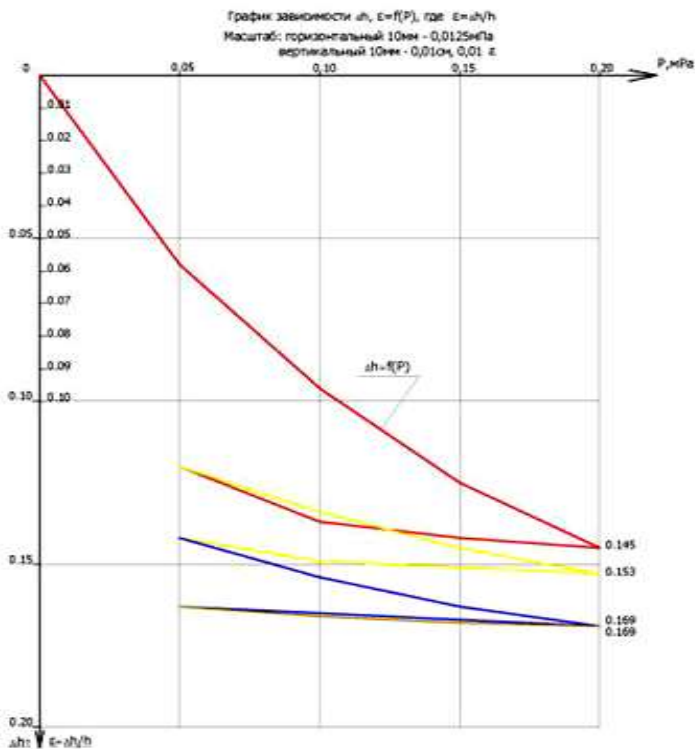


Рис. 3. График деформации флювиогляциального грунта при многократном нагружении

Результаты отображены на графиках зависимости абсолютных осадок от давления $\Delta h = f(p)$. Так, после трех- и четырехкратного цикла нагружения и разгрузки, водонасыщенные грунты потеряли упругие свойства и уже не восстановили свой не только первоначальный объем, но и не увеличились в объеме вовсе.

Такой вид испытаний не является стандартным, но должен проводиться для многих видов грунтов основания на стадии изысканий, а не после аварий объектов. Поскольку весь процесс проектирования зарегулирован нормативными документами, которые напрямую не предусматривают учет отсутствующих в нормативных документах научных подходов при построении цепи причинно-следственных связей. Полученная из научно-технической литературы информация, способствует анализу природно-техногенной обстановки и пониманию структурных изменений системы «основание – фундаменты» под влиянием многократных нагрузок.

Грунты основания в пределах сжатой толщи находятся в различном напряженно-деформируемом состоянии. Часть грунтов проходит стадию доуплотнения, что дает дополнительную осадку силовым. Часть грунтов, в которых давление превысило расчетное сопротивление, может переходить в текучее состояние грунта с нарушенной структурой.

В дальнейшем текучий грунт стремится занять свободный объем как в межпоровом пространстве грунтов другого номенклатурного ряда (например, частицы суглинков или супесей в пески), так и заполняет объем грунтов менее плотного сложения. Напряжение, создаваемое нагрузкой от силовых, в грунте перераспределяется таким образом, что локально создаются зоны переуплотненного, нормально уплотненного и недоуплотненного грунтов.

Такое явление носит все признаки разрушения грунта вследствие «выпора» – неконтролируемого перемещения масс грунта из-под фундаментов.

Подобных аварийных ситуаций можно избежать, если следовать требованиям действующих нормативных документов. Так, согласно [5], объекты, строящиеся в особо сложных инженерно-геологических условиях подлежат обязательному научному сопровождению.

Предусмотрено выполнение мониторинга объектов строительства, обследование для своевременного выявления возможных дефектов, выполнение соответствующих расчетов и моделирования возможного развития ситуации (прогнозное моделирование) и т.д.

Выводы. Таким образом, законодательно нормативной базой предусмотрено научное сопровождение на всех этапах жизненного цикла объектов повышенной сложности, к которым особенно относятся стальные крупные силосы.

1. Казакевич М.И., Банников Д.О. Основные причины аварий жестких стальных бункеров и низких силосов [Текст] // *Металеві конструкції*. – 2002. – №1. – 109 с.

2. ДБН В.2.2-8-98 Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна. – К.: Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 1998. – 40 с.

3. ДБН В.2.1-10-2009 Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения проектирования. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 104 с.

4. Бутенко А.А., Кичаева О.В. Управление напряженно-деформированным состоянием фундаментов крупных силосов [Текст] // *Наука та будівництво*. – 2016. – №4 - 6 с. [принято в печать].

5. ДБН В.1.2-5:2007. Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. Научно-техническое сопровождение строительных объектов. – К.: Министерство регионального развития и строительства Украины, 2007. – 16 с.