

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИЛОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.С. Маркович, Г.Е. Панкратова

*Кафедра «Архитектурно-строительное проектирование»
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
г. Москва; madden-06@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: аварии и разрушения; долговечность конструкций; методы расчета; проектирование силосных сооружений.

Аннотация: Повторяющиеся аварии и разрушения силосных сооружений, указывают на несостоятельность существующих методов расчета и проектирования конструкций, а также подходов к экспериментальному анализу напряженно-деформированного состояния стен силосов. Представлены отдельные результаты экспериментальных исследований деформации стенки силоса отдельно от изгибающих моментов и продольных сил, проведенные сотрудниками кафедры АСП МГСУ. Показана необходимость дальнейших экспериментально-теоретических исследований механики сыпучего тела, а также необходимость учета при проектировании повышения давления при выпуске сыпучих материалов, изменчивости нагрузок и воздействий, анализа пространственной работы стенок силоса с помощью современных систем автоматизированного проектирования.

В свете последних событий в мировой экономике, Российская Федерация по прогнозам многих специалистов к 2020 г. должна стать крупнейшим мировым экспортером зерна, о чем свидетельствуют принимаемые государством национальные программы и меры, направленные на поддержание и развитие сельского хозяйства. Поэтому в настоящее время проблема долгосрочного хранения зерна и продуктов его переработки стоит особо остро.

Обследования, проводимые комиссиями в различные периоды эксплуатации силосных сооружений элеваторов, выявляют ряд идентичных закономерностей при авариях и преждевременных разрушениях стен [1, 3, 4], а именно: наличие множества волосных и макротрещин, сквозных брешей, разрыв кольцевой арматуры. Имеют место также и аварии силосов непосредственно при первой же разгрузке емкости (рис. 1).

В качестве основных причин аварий и разрушений выделяют два фактора. Первый фактор характеризуется нарушением технологии при производстве строительных работ, неудовлетворительным качеством бетона, недостаточным количеством рабочей арматуры и т.д., второй фактор – несоответствием расчетных моделей действительной работе сооружения.



Рис. 1. Обрушение силоса



Рис. 2. Монтаж датчиков для замера деформации стенки

В результате многочисленных экспериментальных исследований установлено: резкое повышение давления (в 3–5 раз) на стенки силоса в процессе выгрузки емкости, неравномерность нагрузки, пульсация, волнообразный характер деформации стенки [4]. В этих опытах давления на стенки силоса фиксировались при помощи мессдоз, установленных в 4–8 рядов по высоте стенки, и от 3 до 8 приборов по периметру силоса. Синхронно с давлением замерялись прогибы стенки силоса.

Применяемые до настоящего времени точечные методики позволяют судить лишь о распределении давления в силосе и о величинах прогибов, вызываемых этим давлением, при этом они не в состоянии в полной мере описать действительное напряженно-деформированное состояние силосной оболочки.

Сотрудниками кафедры архитектурно-строительного проектирования Московского государственного строительного университета разработана методика [2], позволяющая определять величины деформаций стенки силоса отдельно от изгибающих моментов и продольных сил, которая позволила качественно по-новому оценить напряженно-деформированное состояние оболочки.

Оценки деформированного состояния стенки производилась на натурном наружном угловом силосе Саратовского мельзавода № 2 (типовой проект М-3Х175).

Целью эксперимента было установление деформаций стенки силоса, вызываемых изгибающими моментами отдельно от деформаций, вызываемых продольными силами. Для фиксации деформаций на стенке круглого силоса по вертикали, равно удаленной от мест сопряжения с соседними силосами, было разме-

шено 8 датчиков омического сопротивления, которые располагались с наружной и внутренней сторон стенки силоса по вертикали на расстоянии 3 м друг от друга (рис. 2).

В результате экспериментов было установлено, что деформированное состояние стенки силоса определяется, в большей степени, влиянием изгибающих моментов, нежели продольных сил, как считалось ранее; деформации стенки силоса носят волнообразный характер; датчики омического сопротивления фиксировали в одних и тех же точках относительные деформации разных знаков, меняющиеся во времени (рис. 3); на основные колебания деформаций с малой частотой и большой амплитудой накладываются колебания с малой амплитудой и относительно большой частотой; величины изгибающих моментов достигают своего максимума в точках, расположенных на средней трети высоты силоса. Непрерывная во времени запись знакопеременных деформаций стенки силоса позволила аппроксимировать коэффициент асимметрии цикла $\rho = -0,7, \dots, -1$.

Проведенные исследования позволили судить о действительном напряженно-деформированном состоянии стенки силосного сооружения и установить, что главная причина разрушения силосных сооружений – динамический характер нагрузки от сыпучей массы, вызывающей знакопеременные деформации стенки силоса, приводящие к малоцикловой усталости материала конструкций стен силосной оболочки.

В исследованиях [5, 6] отмечено, что усталостная прочность материала под действием малоцикловой нагрузки до двух и более раз ниже по сравнению со статической разрушающей нагрузкой.

На основе экспериментальных исследований, а также многолетнего опыта проектирования железобетонных силосных сооружений, сотрудники кафедры АСП МГСУ разработали ряд рекомендаций, позволяющих при проектировании силосов учитывать динамический характер давления зерна на стенки сооружения, приводящий к малоцикловой усталости материала конструкций стен.

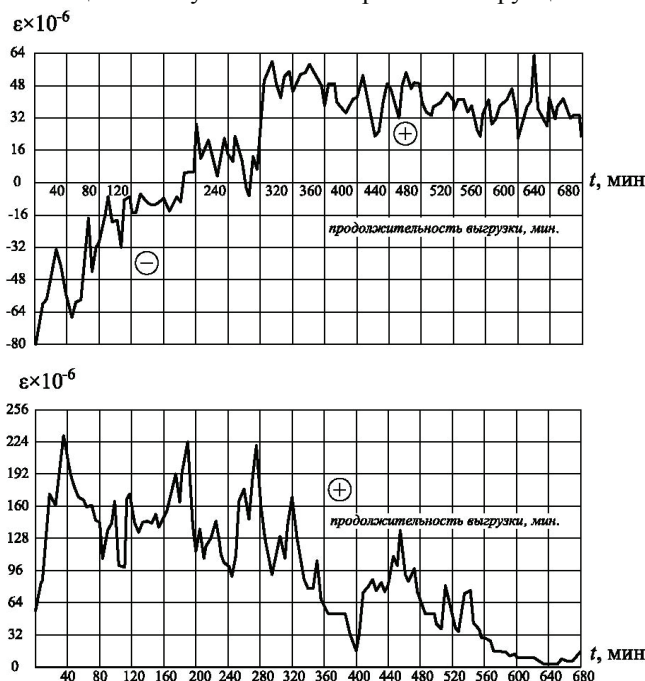


Рис. 3. Изменение деформаций во времени от изгибающих моментов в двух точках в зоне максимальных разрушений стен

Эти исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Необходимо учитывать во всех зонах по высоте силоса при расчетах стен силосных сооружений действие в горизонтальных плоскостях изгибающих моментов. Напряженное состояние стенки силоса определяется в большей степени действием изгибающих моментов, нежели действием кольцевых продольных сил независимо от рассматриваемого сечения по высоте силоса.

2. Сечения силоса, находящиеся на средней трети высоты силоса, должны быть рассчитаны с учетом возможного изменения характера деформирования стенки. Расчетные модели силосных сооружений должны предусматривать знакопеременные деформации точек в наиболее опасных сечениях.

3. Армирование должно выполняться непрерывным на всю высоту силоса, двойным вместо одиночного, как по типовым проектам в верхней зоне.

4. Количество рабочей арматуры должно определяться расчетом на выносливость с коэффициентами асимметрии цикла $\rho = -0,7, \dots, -1$.

5. Прочность конструкции при малоцикловой усталости материала должна характеризоваться усталостным сопротивлением, а не статическим значением расчетного сопротивления.

6. К железобетонным силосным сооружениям следует предъявлять требования, относящиеся к I категории трещиностойкости (без возможности образования трещин), а расчет следует выполнять в упругой стадии с учетом усталостного сопротивления материала конструкций.

Все эти рекомендации позволяют рассчитать и запроектировать конструкции стен силосных сооружений с учетом их действительного напряженно-деформированного состояния. При этом сооружение получается трещиностойким, а вопрос его герметизации, позволяющий обеспечить длительное хранение зерна, решается уже на стадии проектирования.

Список литературы

1. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений : монография / Л.М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 425 с.

2. Ковалев, А.О., Долговечность инженерных силосных сооружений и причины их разрушения : монография / А.О. Ковалев, Г.Е. Панкратова. – М. : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2009. – 178 с.

3. Петров, Б.А. Экспериментальное определение давления цемента на стенки железобетонных силосов / Б.А. Петров // Ленингр. инженер.-строит. ин-т : сб. науч. тр. – Л., 1959. – Вып. 30. – С. 32–35.

4. Тахтамышев, С.Г. Опытное исследование давления зерна в силосах элеватора при Госмукзаводе в Баку / С.Г. Тахтамышев // Науч.-техн. отчет НИЦПС. – 1940. – 41 с.

5. Poukhonto, L.M. Durability of Concrete Structures and Constructions – Silos, Bunkers, Reservoirs, Water Towers, Retaining Walls / L.M. Poukhonto. – Rotterdam : A.A. Balkema Publishers, 2003. – 408 p.

6. Фролов, Т.Г. Определение предела выносливости бетона в связи с расчетом железнодорожных мостов по предельным состояниям / Т.Г. Фролов // Ж.-д. строительство. – 1952. – № 10. – С. 28–31.

To the Question of Durability Improvement of Engineering Silo Constructions

A.S. Markovich, G.E. Pankratova

Department «Architectural Designing», MSUCE, Moscow; madden-06@mail.ru

Key words and phrases: methods of calculation of silo constructions; designing of silo constructions; durability of silo constructions; failures and destructions of silo.

Abstract: Repeating failures and destructions of silo constructions are the result of inconsistency of the existing methods of calculation and designing. Also they show inconsistency of approaches to the experimental analysis of strained state of silo walls. In the present article the authors give the results of experimental research of silo wall straining separately from bending and longitudinal force. All these experiments were carried out by employees of AD MSUCE department. The authors show the necessity of further experimentally-theoretical studies of bulk materials distribution during the loading in silos, also the necessity of account of pressure's rise during the releasing of bulk, variability of loadings and their influence, the spatial analysis of silo walls by means of modern systems of computer modeling.

Zur Frage der Erhöhung der Nutzungsdauer der Ingenieurkonstruktionen

Zusammenfassung: Die wiederholende Unfälle und die Zerstörungen der Silokonstruktionen sind die Resultate der Schwäche der existierenden Berechnungsmethoden und der Projektierung der Konstruktionen als auch der Herangehen zur experimentellen Analyse des gespannt-deformierten Zustandes der Silowände. In diesem Artikel zeigen die Autor die einzelnen Resultate der experimentellen Untersuchungen der Deformierung der Silowand getrennt von den Biegemomenten und den Längsstärken, die von Mitarbeiter des Lehrstuhls AD MSUCE durchgeführt wurden. Die Autor unterstreichen die Notwendigkeit der weitem experimentell-theoretischen Untersuchungen der Mechanik des Schüttkörpers und auch die Notwendigkeit der Berücksichtigung bei der Projektierung der Erhöhung des Druckes bei der Erzeugung der Schüttstoffe, der Veränderung der Belastungen und der Einwirkungen, der Analyse der räumlichen Arbeit der Silowände mit Hilfe der modernen Systeme der automatisierten Projektierung.

Sur la question de la durabilité des constructions d'ingénieur de silo

Résumé: Les accidents fréquentatives et les destructions des constructions de silo sont les résultats d'inconsistance des méthodes existantes durant le calcul et la projection. Aussi ils indiquent sur l'inconsistance d'analyse expérimentale de la déformation des murs de silo. Dans le présent article les auteurs citent quelques résultats des investigations sur les problème de la déformation des murs de silo séparément du courbage et des forces longitudinales, mis en pratique par les collaborateurs du département AD UMCE. En autre, les auteurs indiquent sur la nécessité des études ultérieures expérimentales et théoriques de la conduite de la masse mouvante, ainsi que la nécessité de la mise en compte de l'augmentation de la pression durant la décharge, de l'analyse de la variabilité des charges et des influences, de l'analyse du travail spatial des murs du silo à l'aide des systèmes modernes de la conception assistée par ordinateur.

Авторы: *Маркович Алексей Семенович* – аспирант кафедры «Архитектурно-строительное проектирование»; *Панкратова Галина Евгеньевна* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Архитектурно-строительное проектирование», ФГБОУ ВПО «МГСУ», г. Москва.

Рецензент: *Леденёв Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».