

УДК 69.059.3

Н.А. Крутова

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕВАТОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ УСИЛЕНИИ СТЕН СИЛОСОВ ШПАНГОУТАМИ

*Одним из методов реконструкции элеваторных сооружений является усиление стен силосов с помощью шпангоутов. В данной работе была выполнена оценка влияния температурных воздействий на элеваторные сооружения в зависимости от расположения шпангоутов. Поставленная задача решалась при условии линейной теплопроводности материалов, с граничными условиями в виде температуры наружного воздуха и температуры зерновой массы внутри силоса. Выполнен анализ полученных данных и оценка влияния температуры на стены силосов и зерновую массу.*

**Ключевые слова:** реконструкция, элеваторные сооружения, шпангоуты, температурные воздействия, железобетонные силосы.

### Вступление

Надежное и длительное хранение зерна является одной из главных задач аграрной промышленности. Для выполнения этой задачи используются зернохранилища и элеваторы. Большая их часть построена с 1935 по 1990-е года и находится до сих пор в эксплуатации. За этот промежуток времени было построено свыше 600 элеваторов: сначала из монолитного железобетона с силосами круглого сечения диаметром 3, 4, 6 и 9 м, квадратного сечения размерами 3×3 и 4×4 м, высотой 30–50 м, в основном диаметром 6 м и высотой 30 м. Затем с 70-х годов XX в. строились преимущественно элеваторы из сборного железобетона с силосами квадратного сечения размерами 3×3 м; 3,2×3,2 м; 4×4 м, а также диаметром 4, 6 и 9 м [1; 2]. Учитывая продолжительный срок эксплуатации, многие силосные сооружения требуют проведения ремонтных работ по их усилению.

Существует несколько основных методов реконструкции железобетонных силосных сооружений, одним из которых является усиление стен силосов с помощью шпангоутов. Данная методика предусматривает установку как снаружи, так и внутри стен силосов стальных или железобетонных конструкций, что позволяет увеличить пространственную жесткость всей конструкции силоса [1–4]. Такой способ усиления нашел широкое применение, основное внимание уделялось прочности, жесткости и устойчивости силосного сооружения после выполнения работ. Влияние температуры на железобетонные стены силосов при их усилении шпангоутами остаётся недостаточно изученным. Зерновая масса представляет собой изменчивую систему, в которой постоянно происходят биохимические изменения, например, процесс самосогревания [5]. Необходимо учитывать влияние, оказываемое конструкциями усиления на зерновую массу и как результат

изменение процессов внутри силоса, влияющих на сооружение.

**Цель работы.** Выполнить моделирование железобетонной стены силоса, усиленной шпангоутами в двух вариантах: наружном и внутреннем расположении шпангоутов. Получение картины температурного поля, для определения изменения температуры в зерновой массе и стенах силоса.

### Основная часть

В данной работе методологической основой исследования является моделирование стен железобетонных силосов, усиленных шпангоутами, с учетом физических свойств материалов ограждающей конструкции и зерновой массы, а также расположения конструкций усиления. По итогам проведенного исследования выполнен сравнительный анализ полученных данных.

Для моделирования использовался программный комплекс ELCUT (студенческая версия), модуль «Теплопередача». Поставленная задача решалась при условии линейной теплопроводности материалов, с граничными условиями в виде температуры наружного воздуха и температуры зерновой массы внутри силоса.

Реконструкция силосных сооружений является сложным процессом, так как требует учета большого количества факторов, влияющих на работу конструкций силосов. Нагрузки, которые испытывают стены силоса, изменяются в зависимости от технологических процессов [7; 8]. Загрузка и выгрузка зерна, простой или хранение, каждый из этих процессов сопровождается различными воздействиями и нагрузками на конструкции силосов в целом и их стены в частности. При простое стены испытывают наименьшую нагрузку, остальные этапы эксплуатации связаны не только с давлением от сыпучей массы, но и с процессами, происходящими в зерновой массе [1–4; 9].

Одним из важных физических показателей, который влияет на зерновую массу, является термо-влажнопроводность (перемещение влаги в зерновой массе, обусловленное градиентом температуры). В результате этого явления происходит перемещение влаги вместе с потоком тепла в более холодные слои или участки зерновой массы [5; 9].

Воздух распределен между зёрнами в малых объемах и имеет низкую теплопроводность и высокую теплоемкость, и может долго удерживать темпе-

ратуру и влажность, но, тем не менее, в объеме зерна всегда происходит тепломассообмен. При охлаждении атмосферного воздуха зерно в центре насыпи очень долго (до нескольких месяцев) удерживает тепло. При этом охлажденные слои зерна и воздуха, прилегающие к стенкам хранилища, обуславливают движение охлажденного воздуха сверху вниз, который вытесняет теплый воздух из середины. На рис. 1 показан теплообмен между зерном в силосе и наружным воздухом в зимнее и летнее время года.

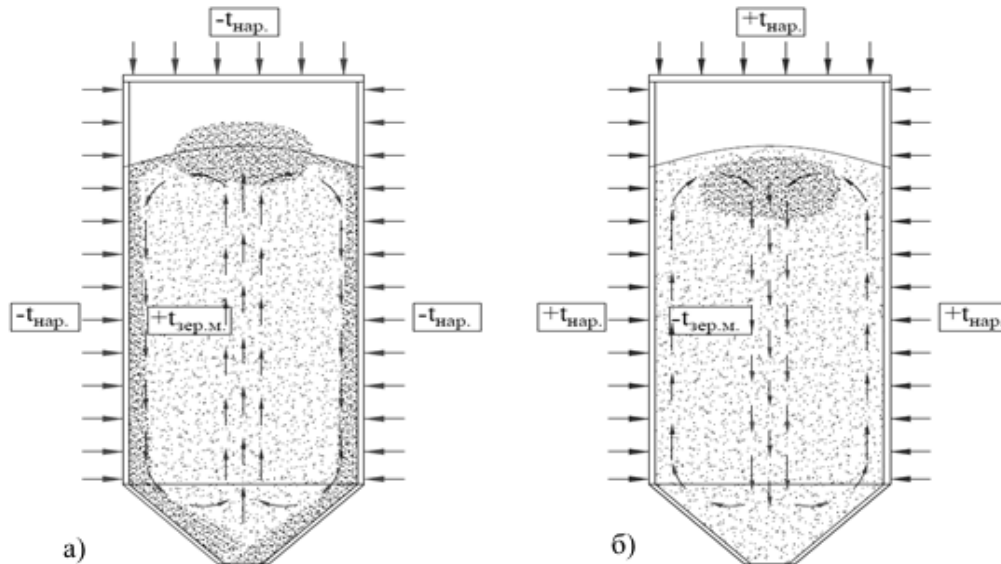


Рис. 1. Процесс теплообмена в силосе: а – при низкой температуре наружного воздуха; б – при высокой температуре наружного воздуха

Термовлажнопроводность всегда возникает при перепадах температур в различных слоях насыпи, особенно в периоды максимальных скачков температуры в осенне-зимний и весенне-летний периоды. При миграции влаги из слоев с большей температурой к местам более холодным и движении влажного воздуха в этих слоях вследствие охлаждения массы до температуры точки росы влага выделяется и образуется конденсат [5; 9]. Под действием термовлажнопроводности влага в зерновой массе перемещается в направлении теплового потока – от слоёв, более нагретых, к менее нагретым. Интенсивность термовлажнопроводности характеризуется термоградиентным коэффициентом, показывающим, какой процент влажности создается при температурном градиенте, который равен единице. Поэтому в результате термовлажнопроводности отдельные слои зерновой насыпи увлажняются, усиливают дыхание и общую жизнедеятельность. В них может возникать самосогревание, прорастание, гниение зерна и развитие микрофлоры. Самосогревание зерна приводит не только к его порче, но и изменяет схему нагружения конструкции силоса (вследствие образования уплотненных слоев зерновой массы, участков залипания и т.д.).

В работах [9–13] изложены исследования влияния температуры на силосные сооружения для же-

лезобетонных и стальных стен, но в случае усиления шпангоутами влияние температуры на стены и зерновую массу будет значительно отличаться. Причиной служит изменение конструкции стен. Для крепления шпангоутов снаружи или изнутри силоса необходимо выполнить их крепление к поверхности стен. В результате стыкуются материалы конструкций с различными теплопроводностями (стены железобетонные, шпангоуты стальные), из-за чего образуются так называемые мостики холода. Тепловой поток обтекает участки с малотеплопроводным материалом. Там, где стальные шпангоуты, имеющие высокую теплопроводность, соприкасаются одновременно с наружными ограждающими конструкциями (железобетонными стенами) и с зерновой массой, и возникает путь для выхода тепла наружу. Наличие температурных мостиков значительно снижает эффективность теплозащиты сооружения, они являются причиной образования конденсата, что недопустимо для хранения зерна.

В данной работе было выполнено моделирование железобетонной стены силоса, усиленной шпангоутами в двух вариантах: наружном и внутреннем расположении шпангоутов. Для моделирования использовался программный комплекс ELCUT (студенческая версия) модуль «Теплопередача». Целью работы было получение картины температурного

поля для определения изменения температуры в зерновой массе и стенах силоса.

Для создания задачи в программном комплексе ELCUT был выбран тип задачи – теплопередача стационарная, класс модели – плоская, тип расчета – обычный. В качестве граничных условий были приняты: температура наружного воздуха и температура зерновой массы.

Температура зерновой массы зависит от многих факторов, как, например, погодные условия, температура окружающей среды, при которой проводился сбор зерна, выполнялось ли охлаждение перед загрузкой в силос зерновой массы или нет, сорт зерна и его влажность (при повышенной влажности зерно самосогревается и в результате поднимается температура). Согласно рекомендациям [5; 9], для корректного хранения зерна оптимальная температура его должна быть при загрузке в пределах от 10 °С до 25 °С при влажности до 16 %. Учитывая тот факт, что зерно обладает низкой теплопроводностью и может продолжительное время сохранять внутри массы температуру, при которой его загрузили, для расчетов был принят интервал от 10 °С до 25 °С.

Для задания граничных условий конвекции необходимо учесть не только температуру, но и коэффициенты теплоотдачи (для внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_{в}=7,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ , для наружной –  $\alpha_{н}=23 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ). Так как конвективный теплообмен определяется по формуле:

$$F_n = \alpha(T - T_0), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, а  $T_0$  – температура окружающей среды.

Для построения модели стены, усиленной шпангоутом, принимаются физические свойства материалов и конструкций согласно табл. 1.

Таблица 1

Теплофизические свойства материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/мК
Железобетон (стены силоса)	2500	2,04
Сталь (шпангоуты)	7850	58
Зерновая масса	800	0,2

В результате проведенного моделирования и расчетов в программе ELCUT были получены температурные поля для холодных и теплых наружных температур, которые оказывают воздействие на стены силосов. На рис. 2, 3 показаны примеры полученных температурных полей в результате выполненного расчета при отрицательной наружной температуре.

Изменение максимального температурного перепада для отрицательной и положительной наружной температуры относительно температуры зерновой массы представлены в виде графиков (рис. 4; 5).

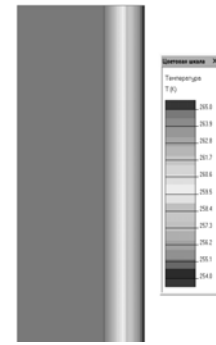


Рис. 2. Схема температурного поля для железобетонной стены силоса

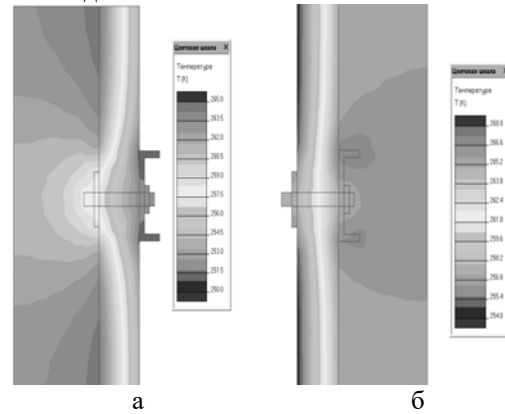


Рис. 3. Схемы температурных полей: а – железобетонная стена силоса, усиленная шпангоутом снаружи; б – железобетонная стена силоса, усиленная шпангоутом с внутренней стороны

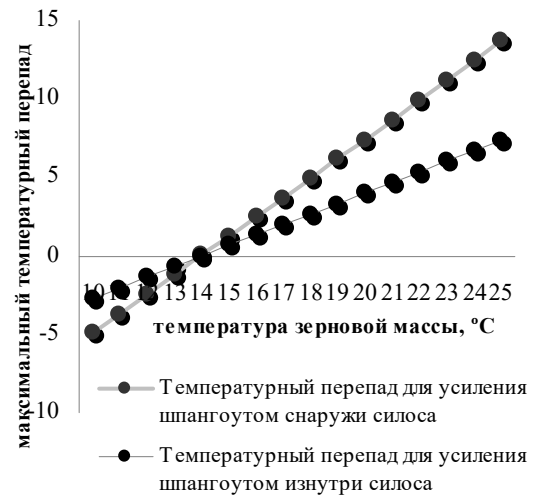


Рис. 4. График зависимости температурного перепада от температуры зерновой массы при воздействии отрицательной температуры наружного воздуха

Анализ полученных данных позволяет заключить, что изначально при проектировании силосного сооружения обеспечивается максимально возможное равномерное влияние температуры на стены силоса, но в результате усиления картина температурного поля изменяется. В случае с наружным усилением перепад температур в 1,5 – 2 раза больше, чем при внутреннем усилении.

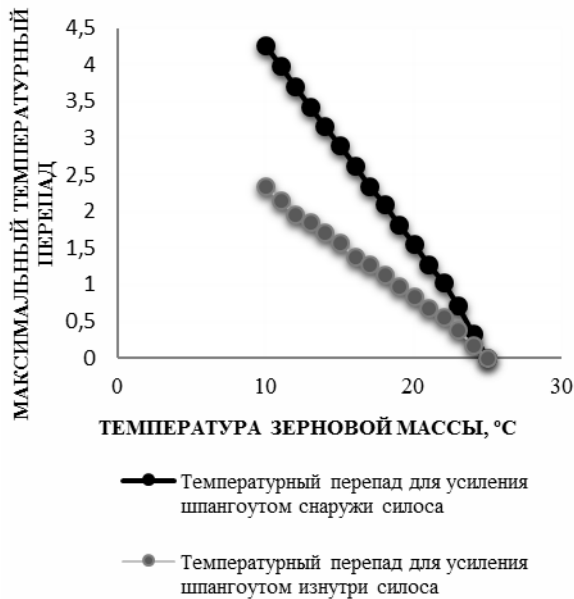


Рис. 5. Графік залежності температурного перепаду від температури зернової маси при впливі позитивної температури зовнішнього повітря

### Вывод

При виборі оптимального варіанта посилення силосного спорудження необхідно враховувати як вплив шпангоутів на збільшення просторової жорсткості спорудження, так і його подальше вплив на зернову масу, яка буде зберігатися в силосі. Як показало дослідження, шпангоут, розташований зовні силоса, більше піддається температурному перепаду, порівняно з внутрішнім розташуванням. Чим більше температурний перепад між зовнішньою огорожуючою конструкцією та зерновою масою, тим вище утворення конденсату і, як наслідок, виникнення процесу самогрівання зерна. Це, в свою чергу, може призвести до заляпанню зерна на стінах і ущільненню зернової маси, утворенню корок (нерівномірному розподілу навантаження). Таким чином, найбo-

ліше раціональним вважається посилення з допомогою шпангоутів, встановлюваних всередині спорудження.

### Список литературы

1. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам [Текст] / А.Н. Добромислов. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 72 с.
2. Ghali A. Circular storage tanks and silos [Текст] / A. Ghali. – London, 2000. – P. 131-145.
3. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт [Текст] / Ю.В. Иванов. – М.: Издательство АВС, 2013. – 312 с.
4. Плевков В.С. Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений [Текст] / В.С. Плевков, А.И. Мальганов, И. В. Балдин; под ред. В. С. Плевкова. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. – 314 с.
5. Малин Н.И. Технология хранения зерна [Текст] / Н.И. Малин. – М.: Колос, 2005. – 280 с.
6. Гучкин И.С. Диагностика поврежденных и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учебное пособие [Текст] / И.С. Гучкин. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 176 с.
7. Караогланов В.Г. Выбор эффективных организационно – технологических решений при реконструкции зданий [Текст] / В.Г. Караогланов, К.А. Шрейбер. – М.: МИКХиС, 2006. – 105 с.
8. Олейник П.П. Организация реконструкции промышленных зданий и сооружений [Текст] / П.П. Олейник, В.И. Бродский. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 116 с.
9. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия [Текст] / А.П. Кричевский. – М.: Стройиздат, 1984. – 150 с.
10. Береснеб В.Л. Работа стен монолитных железобетонных силосов при температурных воздействиях: дис. ... канд. техн. наук / Береснеб В.Л. – Самара, 1996. С. 18-92.
11. Bofang Z. Thermal stresses and temperature control of mass concrete [Текст] / Z. Bofang. – Oxford, UK, 2014. – P. 11-44.
12. Perkins P.H. Repair, protection and waterproofing of concrete structures. Third edition [Текст] / P.H. Perkins. – London, 2003. – 156 p.
13. Banichuk N. V. Introduction to Optimization of Structures Springer [Текст] / N.V. Banichuk. – New York, 1990. – 326 p.

Поступила в редколлегию 29.11.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.Ю. Избаш, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

### ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДІЙ НА ЕЛЕВАТОРНІ СПОРУДИ ПРИ ПІДСИЛЕНІ СТІН СИЛОСІВ ШПАНГОУТАМИ

Н.О. Крутова

Одним з методів реконструкції елеваторних споруд є підсилення стін силосів з допомогою шпангоутів. В даній роботі була виконана оцінка впливу температурних дій на елеваторні споруди в залежності від розташування шпангоутів. Поставлена задача вирішувалась за умов лінійної теплопровідності матеріалів, з граничними умовами у вигляді температури зовнішнього повітря і температури зернової маси всередині силосу. Виконано аналіз отриманих даних і оцінка впливу температури на стіни силосів і зернової маси.

**Ключові слова:** реконструкція, елеваторні споруди, шпангоути, температурні дії, залізобетонні силоси.

### ESTIMATION OF INFLUENCE OF TEMPERATURE IMPACTS ON ELEVATOR STRUCTURES IN STRENGTHENING WALLS OF SILOS BULKHEADS

N.A. Krutova

One of methods of reconstruction of elevator structures is strengthening of walls of silos by means of bulkheads. Reconstruction of silage constructions is difficult process and requires accounting of a large number of the factors influencing work of designs of silos. In this work the impact assessment of temperature impacts on elevator constructions depending on an arrangement of bulkheads was executed. The objective was solved on condition of linear heat conductivity of materials, with boundary conditions in the form of temperature of external air and temperature of grain weight in a silo. The analysis of the obtained data and assessment of influence of temperature on walls of silos and grain mass was made.

**Keywords:** reconstruction, elevator structures, bulkheads, temperature influences, reinforced concrete silos.