

## ДЕФЕКТЫ И ДЕФОРМАЦИИ СТЕН СИЛОСОВ И БУНКЕРОВ

Боздаганьян А.В., студент гр. КППС-503м. Научный руководитель – Коломийчук Г.П., к.т.н., доцент

Цель данной работы - выявление образования трещин, их характера локальных разрушений позволяет обосновать применения метода предельных состояний для этих форм разрушений.

Поэтому в данной статье мы рассмотрим основные типы повреждений в стенах круглых железобетонных силосов. Приведенные схемы отражают повреждения, полученные силосами за длительных период эксплуатации, вследствие длительных циклических нагрузок и воздействий окружающей среды. В них суммируются те дефекты, которые имели место при изготовлении, монтаже и возведении, а также вследствие некорректностей допущенных при проектировании.

Ранее учеными предполагалась возможность возникновения одиннадцати вариантов моделей трещин в основном силового происхождения: основных и комбинированных [1-5]. Основными были приняты отдельные несквозные горизонтальные и вертикальные трещины на наружной и внутренней поверхности силоса. При различных сочетаниях основных типов трещин возникают комбинированные. Кроме того, трещины некоторых комбинированных типов могут переходить в другие комбинированные или в основные.

Разрушение стен силосов и бункеров это распространенный случай предельных деформаций конструкций инженерных сооружений. Такое явление имеет многообразные формы, определяемые характером вызвавших его причин (рис.1). Среди часто встречающихся видов дефектов и деформаций стен силосов нужно отметить несколько основных типов (рис.2).

*Вертикальные трещины в стенах силосов.* В стенах силосов без предварительного напряжения при эксплуатационной нагрузке, образуются вертикальные трещины в наиболее нагруженной зоне  $h_{mi}$  по высоте силоса (рис.2.2). На ранних стадиях нагружения трещины в основном имеют раскрытие до 0,2 мм и не представляют опасности для эксплуатации конструкции. Однако дальнейшее их развитие может привести к такому состоянию, при котором нормальная эксплуатация

силосов окажется невозможной, а вероятность аварии станет значительной. Процесс разрушения стен силосов при развитии вертикальных трещин протекает разнообразно, что определяется многочисленностью и разносторонностью причин. В их числе основное место занимает недостаточное армирование. Во многих аварийных случаях обнаруживались значительные пропуски и смещения арматуры в обоих направлениях от проектного положения, уменьшение зоны анкеровки (перепуска) стержней, установка арматуры меньшего диаметра.

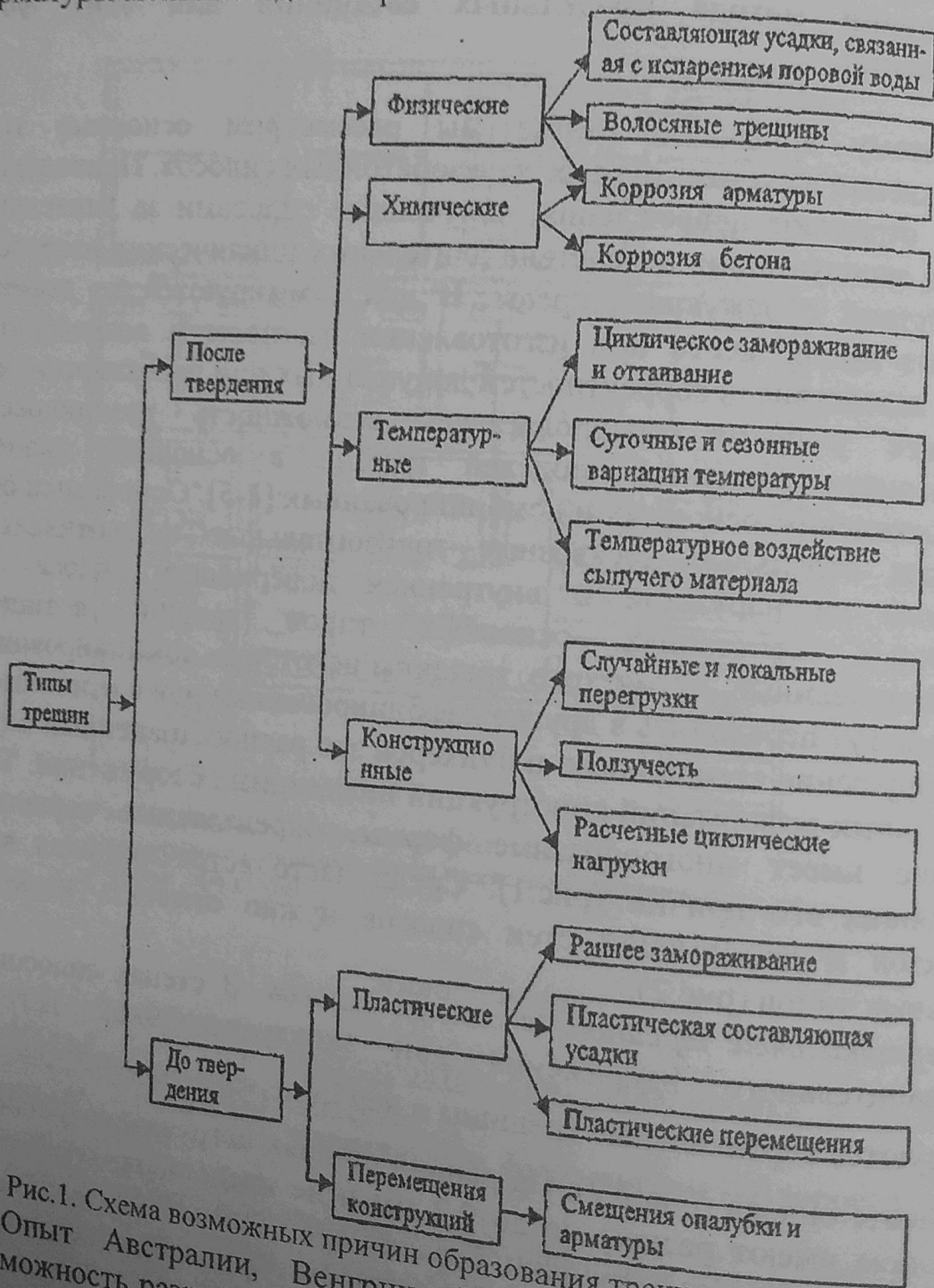


Рис. 1. Схема возможных причин образования трещин в стенах силосов. Опыт Австралии, Венгрии, ЮАР и других стран показал возможность разрушения стен силосов по новой схеме в виде трещин



значительной протяженности, длиной 5-8 м и шириной их раскрытия в конечной фазе разрушения до 10-30 см (рис.2.2). Выделены три причины общего порядка: значительная часть сооружений разработана и возведена 25-35 лет назад, используя нормы, в которых были заложены низкие значения горизонтальных давлений сыпучего, пренебрегая колебаниями нагрузки в кольцевом направлении. Внутренние усилия в стенах были вычислены на основе упрощенных расчетных моделей в рамках безмоментной теории без учета изгибающих моментов. Наконец, методы возведения в скользящей опалубке способствовали первоначальному накоплению дефектов. Наряду с этим к их числу отнесены: переармирование, усадка бетона, значительные непредусмотренные потери влажности бетонной смеси, недостаточно учтенные осадки.

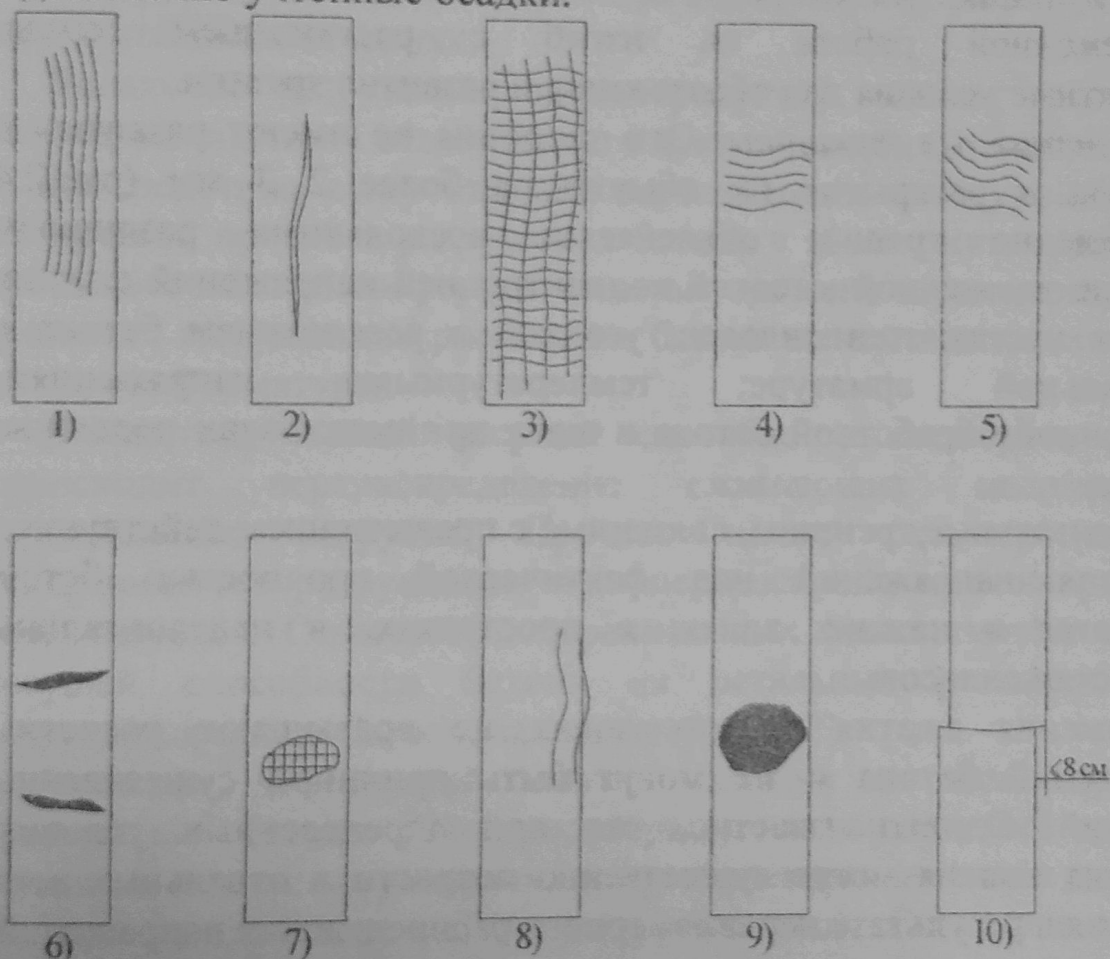


Рис.2. Модели локальных повреждений стен железобетонных силосов: 1 - часто-расположенные вертикальные трещины, параллельные друг другу; 2 - одиночные вертикальные трещины большой протяженности; 3 - равномерная сетка вертикальных и горизонтальных трещин; 4 - горизонтальные трещины; 5 - наклонные трещины; 6 - смятие бетона в горизонтальных сечениях; 7 - локальные смятия; 8 - выпучивание арматурных стержней; 9 - образование брешей на ослабленных участках; 10 - сдвиг участков стен круглых силосов в верхней и средней частях.

Существенную роль в развитии вертикальных трещин играет общее

снижение прочности бетона стен силосов, которое допускается при возведении. Причинами этого чаще всего бывает неправильный подбор состава бетона, применение низкокачественных заполнителей, слабое уплотнение и недостаточный уход за бетоном, особенно при отрицательной и высокой положительной температуре.

Кроме строительных дефектов, процесс образования трещин связан с недостаточным учетом в нормах проектирования действительных условий работы силосов: неравномерного и изменяющегося характера нагрузок от давления зерна, особенно при истечении его, переменной жесткости стен силоса, взаимного влияния смежных силосов, общего изгиба сооружений, температурных воздействий. Армирование стен внутренних силосов одиночной арматурой, встречающееся до сих пор на действующих элеваторах, не соответствующее характеру их знакопеременной работы на изгиб с растяжением, создает благоприятные условия для образования и развития трещин.

*Горизонтальные трещины.* Эти трещины не имеют развитых по высоте зон и раскрытие их обычно не более 2...3 мм (рис.2.4). Происхождение трещин объясняется несколькими различными причинами: возможной высокой концентрацией напряжений сжатия в отдельных частях стен силосов; усадкой и расслоением бетона по горизонтальной арматуре; температурными напряжениями; недостаточной обработкой бетона в швах при остановках подвижной опалубки.

Горизонтальные трещины, связанные с превышением действующих сжимающих напряжений над фактической прочностью бетона, наблюдаются в нижних зонах: в простенках, в надкапитальных участках стен силосов.

Напряжения сжатия в этих зонах не превышают расчетных сопротивлений бетона и не могут быть причиной существенных деформаций. Однако известно, что при определенных условиях, напряжения сжатия могут существенно возрасти в отдельных зонах сооружения в результате неравномерного распределения напряжений в упругом основании и концентрации их по контуру фундаментной плиты. При неосесимметричном загрузении цилиндрического силоса, возможно образование наклонных трещин (рис.2.5).

*Сетка горизонтальных и вертикальных трещин.* Такая форма повреждений имела место при недостаточном отражении в расчетах температурных воздействий на стены силосов (рис.2.3).

В наиболее нагруженных участках, пересекающиеся вертикальные и горизонтальные трещины могут образовать систему линейных пластических шарниров, разделяющих стенки на большие или



меньшие части. Образованию сетки трещин сопутствуют обычно выпучивания участков стен с наиболее частым расположением и наибольшим раскрытием вертикальных и горизонтальных трещин. Это явление связано с нарастающими деформациями прогибов, вызванными пластическим течением арматуры в шарнирах.

*Смятие бетона стен в горизонтальных сечениях.* Такое явление наблюдается в нижних зонах монолитных стен, возводимых в скользящей опалубке (рис.2.6). Первым признаком его практически всегда являются образование незначительных горизонтальных трещин и отслоение защитного слоя. Размеры зон смятия бетона колеблются в широких пределах, но наиболее часто ширина их составляет 10...30 см, а длина по дуге силоса 3...5 м. Их развитие возможно по всему периметру наружных и внутренних силосов в одном или нескольких горизонтальных сечениях.

Локальное разрушение характеризуется мелким раздроблением бетона, выпадением отдельных его кусков и щебня, обжатием этих зон и, как следствие, выпучиванием вертикальных арматурных стержней. Ускорению процесса разрушения бетона в зонах смятия способствует проникновению атмосферной воды внутрь стен через первоначальные трещины, вызывающее расслоение бетона вследствие замерзания воды и коррозии арматуры.

Вследствие низкой несущей способности стен в зонах смятия происходит перераспределение сжимающих напряжений от вертикальных нагрузок. Процесс имеет характер постепенно ускоряющегося разрушения, если перераспределение напряжений не стабилизируется. Однако при ограниченных зонах смятия и высокой несущей способности бетона на остальных участках, процесс разрушения может быть локализован (рис.2.7).

Развитие деформаций смятия связано с низкой начальной прочностью бетона. Это подтверждается внутренней структурой бетона на отдельных участках, не претерпевших заметных деформаций и сохранивших защитный штукатурный слой. Обычно в этих зонах бетон имеет неплотную структуру, иногда с включением замусоренных прослоек. Основной причиной появления таких зон является неправильная технология выполнения конструкций: недостаточное уплотнение бетона, срывы бетона в скользящих формах, не тщательно и не своевременно заделанные; длительные перерывы в бетонировании, приводящие к замусориванию швов, отсутствие обработки технологических швов бетонирования.

Внезапные выколы участков стен силосов для угля наблюдались в

*Выпучивание домкратных стержней и арматуры.* Этот тип повреждения объясняется потерей устойчивости стержней вследствие передачи на них больших нагрузок и недостаточного их раскрепления. Выпучивание происходит в зонах ослабленного бетона и связано с его сильным обжатием (рис.2.8). Само по себе оно не представляет аварийной опасности для конструкции, и можно было бы ограничиться вырезанием деформированных стержней и заделкой бетона.

Опасность для конструкций состоит в том, что потери устойчивости домкратных стержней протекают с большими отклонениями от их первоначального положения, в результате чего возникают выколы бетона, продергивается и обрывается горизонтальная арматура силосов. Выпучивание домкратных стержней служит одним из признаков начинающегося разрушения стен силосов.

*Образование брешей.* Бреша в стенах силосов - это результат локального развития пластических деформаций в зонах ослабленного бетона и выдавливания отдельных частей стен после разрывов арматуры или в местах ее пропусков (рис.2.9). Особенность этого типа повреждения состоит в образовании брешей первоначально во внутренних стенах силосов.

Это обусловлено тем, что расчетные усилия от давления зерна на стены внутренних силосов в наиболее опасной по высоте зоне принимали, как правило, меньшими, чем для наружных силосов. С другой стороны, выпуск зерна из наружных силосов часто проектируют через смежную "звездочку", что сводит к минимуму вероятность увеличения нагрузки на стены наружных силосов при истечении зерна. Выпуск зерна из внутренних силосов почти всегда осуществляют через сами силосы, при этом наблюдается значительное увеличение давления. Также неблагоприятным фактором является одиночное армирование, не соответствующее характеру работы внутренних силосов.

*Сдвиги участков стен.* Это явление наблюдается в средней по высоте зоне стен при больших (1,0...1,6 м) и неравномерных осадках сооружений, вызывающих прогиб до 1/1000-1/500 от длины корпуса. Наружу сместились верхние части стен на величину до 80 мм (рис.2.10).

В таких случаях обнаружен слой ослабленного бетона, по которому и произошел сдвиг. Наружу сдвинулись верхние части стен, хотя нагрузки от давления зерна в нижней зоне не меньше, чем в верхней. Сдвиг произошел близко к середине высоты, а не в нижних частях, где также обнаружено несколько слоев бетона пониженной прочности. Объяснение этому можно найти в общей изгибающей пространственной

деформации силосных корпусов. Прогиб корпуса вызывает появление касательных напряжений, максимальное значение которых относится к нейтральной оси поперечного сечения. Влияние подсилосных конструкций и фундаментной плиты приводит к перемещению центра тяжести поперечного сечения несколько ниже середины высоты силосов, где и произошли сдвиги.

По длине корпуса в общем случае простого изгиба касательные напряжения возрастают к периферийным участкам. При двухосном изгибе суммарные максимальные касательные напряжения возникают в угловых силосах и направлены по диагоналям корпуса. При сложном изгибе наибольшие касательные напряжения, тяготея по-прежнему к внешним участкам, могут распределяться по их длине различным образом.

Смещение верхних частей произошло благодаря прогибу корпуса. В случае же выгиба корпуса (при преобладании осадок крайних зон) смещение получают нижние части стен силосов.

Таким образом, часть стен выключается из работы на сжатие, и работоспособность конструкции может обеспечиваться только в результате перераспределения усилий во внутренние зоны. Обычно сдвиговым явлениям сопутствуют обмятая бетона в тех же зонах, что значительно увеличивает опасность внезапного, обрушения.

### *Выводы*

В процессе монтажа и эксплуатации железобетонных конструкций силосных сооружений возникают дефекты и повреждения различного характера, которые оказывают влияние на их напряженно-деформированное состояние и долговечность. Одними из опасных форм разрушения стен железобетонных силосов являются локальные разрушения. Анализ повреждений стен силосов показал, что важную роль в их развитии играет совокупность разных факторов: нагрузки, окружающей среды, технологии возведения, контроля качества.

1. Нгуен Нгок Нам., Пространственная работа цилиндрического железобетонного силоса при локальных повреждениях, вызванных воздействием внешней среды. Московский государственный строительный университет. Москва – 2006г. 2. Пухонго Л.М., Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. Москва – 2004 г. 3. Скориков Б.А. и другие. Реконструкция элеваторных сооружений. Москва – 1988г. 4. European Committee for Standardization, Eurocode 2 :Design of concrete structures. Brussels – 1991г. 5. Varga J., Structural Problem and Rehabilitation of concrete Silos and Bunkers. Teheran – 2000г.