Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 624.954

Восстановление работоспособности воронок силосного корпуса

Туров А.И.

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ

Аннотация

Целью исследований является расчет и ремонт воронок силосного корпуса зернового элеватора. В соответствии с полученными результатами расчета даны рекомендации по восстановлению эксплуатационных свойств воронок.

В данной статье рассматривается расчет армирования и ремонта воронок силосов из сборных объёмных блоков СОГ силосного корпуса для хранения зерна и соевых бобов. Приведено описание конструктивного решения усиления и восстановления воронок силосных банок зернового элеватора. Предложено конструктивное решение усиления воронок силосного корпуса.

Ключевые слова: ЗЕРНОВОЙ СИЛОСНЫЙ КОРПУС, ВОРОНКИ СИЛОСНЫХ КОРПУСОВ ИЗ СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ДЕФЕКТЫ ВОРОНОК, РЕМОНТ ВОРОНОК СИЛОСНОГО КОРПУСА

Выполнена оценка технического состояния сборных воронок силосного корпуса из сборных объёмных блоков СОГ, расположенного на территории Серышевского заготовительного участка в с. Серышево Амурской области. Здание элеватора возведено в 1973 г. по типовому проекту 702-2 и с учётом типового проекта 702-19.

Учитывая увеличение производства зерна и сои, необходимо позаботиться о сохранении урожая, а также об экспорте продукции сельскохозяйственной отрасли. Поэтому реконструкция силосного корпуса является актуальной задачей.

Конструктивное решение

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

Воронки силосов выполнены из сборных железобетонных элементов. 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. Количество элементов по высоте – 25 шт. Размещение элементов СОГ в плане – 6х10 шт. [1].

Анализ результатов технического обследования силоса

Анализ результатов технического обследования воронок силоса показал, что общее техническое состояние многих воронок оценивается, как неработоспособное или аварийное.

В воронках обнаружены вертикальные трещины с шириной раскрытия более 0,6 мм, а также сколы и отслоение защитного слоя бетона, щели в местах сопряжения воронок.

Усиление подсилосной воронки рекомендуется, как правило, при предаварийном или аварийном состоянии воронок (многочисленные трещины с раскрытием более 0,6 мм или отдельные более 0,7-0.8 мм). Для этого внутри воронки, используемой как опалубка, делают новую железобетонную воронку, армированную отдельными стержнями (рис. 1).

Толщина слоя бетона, прочность его и армирование определяется расчетом, в зависимости от того, какую часть расчетной нагрузки может воспринять воронка (по данным заключения об обследовании). В предельном случае несущая способность усиления должна быть рассчитана на полную нагрузку.

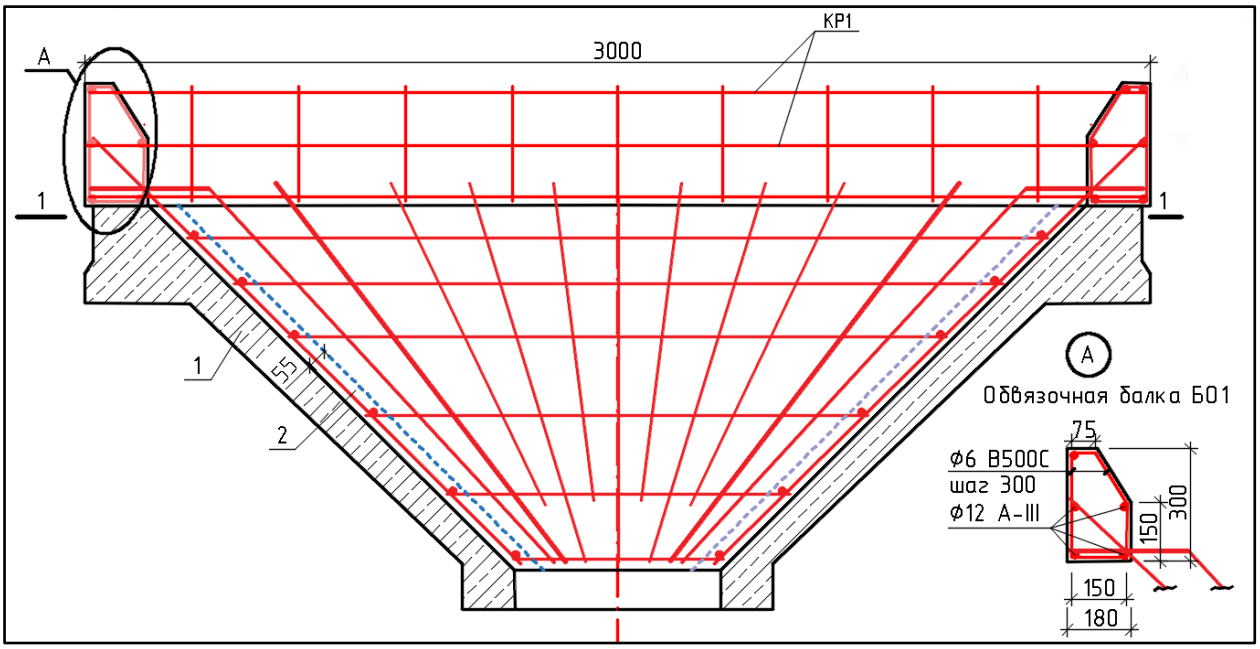
Возможны другие способы ремонта воронок, в зависимости от характера деформаций в них и ширины раскрытия трещин. Например, если деформации сосредоточены в нижней выпускной части воронки, а верхняя опорная зона находится в хорошем состоянии, можно использовать торкретбетон, наносимый снаружи на воронку по пристреленной к ней арматурной сетке, анкерованой в ненарушенную верхнюю часть воронки.

Далее выполняется дополнительное усиление воронки железобетонной обоймой.

Железобетонная обойма устраивается непосредственно по всем плоскостям воронки и далее одновременно бетонируется обвязочная балка. Армируется обойма вертикально-наклонными и горизонтальными стержнями.

Вертикально-наклонные стержни привариваются к рабочим продольным стержням балки во всех точках пересечения, после чего выставляется специальная опалубка и нагнетается (инъецируется) под неё бетонная смесь.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»



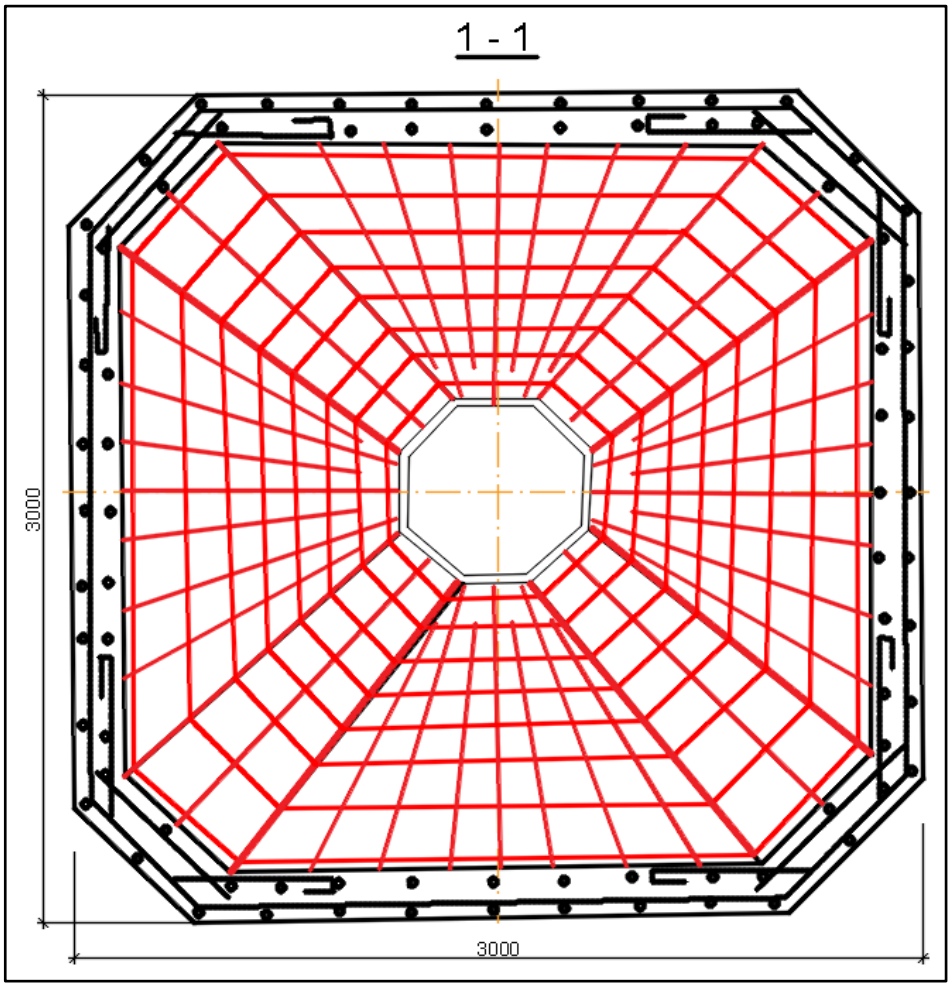


Рис. 1. Усиление подсилосной железобетонной воронки силосного корпуса типа СКС-3: расположение арматуры; 1 -воронка; 2 -обойма усиления

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Описание причин образования трещин

В процессе истечения сыпучего материала из силоса в толще слежавшегося материала, в связи с наличием сил трения материала о стенки, могут образовываться своды и пустоты. В результате этого происходит обрушение больших масс материала, сопровождающееся резким увеличением давления и уплотнением материала. Таким образом, возникают ударные уплотняющие нагрузки на нижние участки стен и воронки. Выступающие детали и шероховатость стенок также могут послужить причиной возникновения сводов.

При закрытии выпускного отверстия в силосах, опорожняемых неполностью, происходит значительное повышение давления вследствие внезапной остановки движущегося столба сыпучего материала над отверстием. Наблюдениями отмечено, что даже при небольшом количестве выгруженного сыпучего материала горизонтальное давление может увеличиться в 2-3 раза. Это указывает на то, что динамическое повышение давления в силосах связано не только с обрушениями зависающих масс при частичной выгрузке силоса.

В результате таких явлений в некоторых воронках силосов образовались трещины шириной до 1 мм, что привело эти воронки в аварийное состояние [1].

Расчет арматуры усиления воронки силоса

Высота силосов h = 30 м, размеры силосов в осях 3×3 м, класс тяжелого бетона В22,5 (М300), горизонтальная и вертикальная арматура - сталь класса А-III.

Заполнение силоса - пшеница с удельным весом γ = 8,0 кН/м^3 (0,8 тс/м^3), коэффициент трения зерна о стену f=0,4, коэффициент λ = 0,44; коэффициент надежности по нагрузке γ_f = 1,3. Требуется определить сечение арматуры усиления для обоймы воронки.

Расчёт выполняется в соответствии с [2].

Расчет пирамидальной воронки силоса производим на горизонтальное кольцевое и осевое растяжения, действующие вдоль образующей.

Расчетные растягивающие продольные силы в воронке - горизонтальную N_h в меридиональном сечении и N_τ, действующую вдоль образующей воронки под углом α к горизонту в кольцевом сечении (рис. 2) определяем по формулам (1) и (2).

$$N_h = \frac{1}{\gamma_c}(\gamma_f p_\alpha^n + \gamma_{f1} g \cos\alpha)\frac{dz}{2\sin\alpha}; \quad (1)$$

$$N_\tau = \frac{\gamma_f}{\gamma_c}\left(\frac{p_v^n dz}{4\sin\alpha} + \frac{G}{\pi dz \sin\alpha}\right), \quad (2)$$

где γ_{f1} - коэффициент надежности по нагрузке от собственного веса воронки силоса;

g - собственный вес единицы площади стенки воронки;

G - вес части воронки с сыпучим материалом, расположенной ниже плоскости сечения.

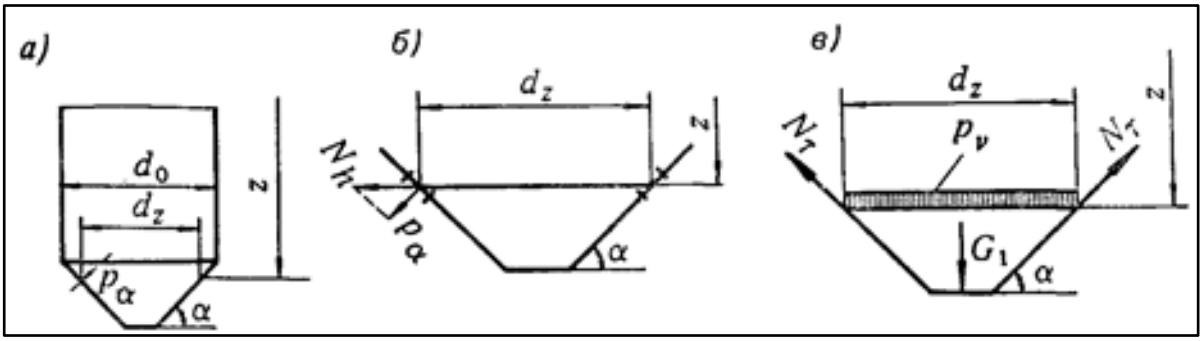


Рис. 2. Расчетные схемы конической воронки

Примечание: а - обозначение размеров воронки; *б* - схема для определения горизонтального растягивающего усилия; *в* - схема для определения меридионального (вдоль ската) растягивающего усилия

Значение коэффициента условий работы γ_c =1. Допускается p_h^n и p_v^n принимать в уровне верха воронки.

Нормативные давления сыпучего материала на наклонную под углом α к горизонту поверхность днищ или воронок силосов определяются по формулам (3) и (4).

Нормальное к поверхности воронки давление

$$p_\alpha^n = p_v^n(cos^2\,\alpha + \lambda\, sin^2\,\alpha); \quad (3)$$

касательное к поверхности воронки давление

$$p_\tau^n = p_v^n(1-\lambda)\, sin\,\alpha\, cos\,\alpha. \quad (4)$$

Горизонтальная сила на уровне верха воронки p_h =24,8 тс/м (см. расчет ниже).

Требуется определить горизонтальное усилие и сечение горизонтальной арматуры для нижней зоны.

Определение нагрузок

$$\rho = \frac{A}{U} = \frac{2{,}9\cdot 2{,}9}{4\cdot 2{,}9} = 0{,}73 \text{ м} \quad (5)$$

Значение параметра $\xi_i = \lambda f\,\frac{z}{\rho} = 0{,}44\cdot 0{,}4\,\frac{30}{0{,}73} = 7{,}3;$ (6)

по прил. 7 [2] A_1 = 0,9993, тогда нормативное значение горизонтального давления

p_h^n определяется по формуле (7)

$$p_h^n = \frac{\gamma \cdot \rho}{f} A_1 = \frac{8 \cdot 0{,}73}{0{,}4} \cdot 0{,}9993 = 14{,}5 \text{ кН/м}^2 \ (1{,}45 \text{ тс/м}^2); \quad (7)$$

Нормативное значение полосового горизонтального давления p_{h3}^n определяется по формуле (8)

$$p_{h3}^n = a_3 p_h^n = 0{,}2 \cdot 14{,}5 = 2{,}9 \text{ кН/м}^2 \ (0{,}29 \text{ тс/м}^2) \quad (8)$$

где a_3 - коэффициент местного повышения давления сыпучего материала, равномерно распределенного по всему периметру квадратного силоса п. 4.12 [2].

Дополнительное горизонтальное давление зерна на наружные воронки от суточного перепада температур находим по [2]

$$p_{ht}^n = k_{t1} p_h^n = 0{,}15 \cdot 14{,}5 = 2{,}2 \text{ кН/м}^2 \ (0{,}22 \text{ тс/м}^2), \quad (9)$$

где k_{t1} - коэффициент, принимаемый равным 0,15 - для сборных железобетонных при толщине воронки менее 15 см.

Определение усилий

В соответствии с п.п. 5.4, 5.12, 5.13, прил. 10 [2] для комплексного сечения значение усилий в наружных воронок равно:

$$M = \left[\frac{\gamma_f}{\gamma_c}(p_h^n + p_{h3}^n) + \psi_2 \frac{\gamma_{ft}}{\gamma_c} p_{ht}^n\right] \beta_1 l_d; \quad (10)$$

$$N = \left[\frac{\gamma_f}{\gamma_c}(p_h^n + p_{h3}^n) + \psi_2 \frac{\gamma_{ft}}{\gamma_c} p_{ht}^n\right] l/2 \quad (11)$$

$$M_{sup} = \left[\frac{1{,}3}{1}(14{,}5 + 2{,}9) + 0{,}9 \frac{1{,}1}{1} 2{,}2\right] \frac{2{,}75^2}{12} = (24{,}8) \frac{2{,}75^2}{12} = 15{,}6 \text{ кН·м } (1{,}56 \text{ тс·м});$$

$$M_m = \frac{p_h \cdot l_d{}^2}{24} = 24{,}8 \frac{2{,}75^2}{24} = 7{,}8 \text{ кН·м } (0{,}78 \text{ тс·м});$$

$$N = \frac{p_h \cdot l}{2} = \frac{24{,}8 \cdot 2{,}9}{2} = 36 \text{ кН·м } (3{,}6 \text{ тс·м}),$$

где l_d = 2,75 м;

M_{sup} – изгибающий момент на опоре воронки;

M_m – изгибающий момент в пролёте воронки;

N – горизонтальное растягивающее усилие в воронке.

Учитывая, что высота опорного сечения в 2 раза больше, чем в месте сужения вута, определяем момент в сечении *1-1*

$$M_{1-1} = M_{sup} + \frac{p_h c^2}{2} - \frac{p_h l \cdot c}{2} \quad . \qquad (12)$$

Подставляя фактические значения l_d и c=0,255 м, получим, что $M_{1-1} = 0{,}55 M_{sup}$.

Расчетная высота комплексного сечения равна 1,2·2 = 2,4 м.

При расчете по предельным состояниям первой группы усилия в наружных силосах:

$$M_{1-1} = 0{,}55 \cdot 15{,}6 \cdot 2{,}4 = 20{,}6 \text{ кН·м (2,06 тс·м)};$$

$$N = 36 \cdot 2{,}4 = 86{,}4 \text{ кН/м (8,64 тс/м)};$$

$$M_m = 7{,}8 \cdot 2{,}4 = 18{,}7 \text{ кН·м (1,87 тс·м)}.$$

Во внутренних силосах (температурные воздействия не учитываются).

$$M_{1-1} = 0{,}55[1{,}3(14{,}5 + 2{,}9)]\frac{2{,}75^2}{12}2{,}4 = 18{,}8 \text{ кН·м (1,88 тс·м)};$$

$$M_m = 1{,}3(14{,}5 + 2{,}9)\frac{2{,}75^2}{24}2{,}4 = 17{,}1 \text{ кН·м (1,71 тс·м)};$$

$$N = 1{,}3(14{,}5 + 2{,}9)\frac{2{,}9}{2}2{,}4 = 78{,}7 \text{ кН/м (7,87 тс/м)}.$$

Вся вертикальная и горизонтальная нагрузка на воронку воспринимается арматурой.

Расчет *горизонтальной арматуры усиления* стенки воронки.

Нормальная нагрузка на стенку воронки определяется по формуле (3)

$$p_\alpha = p_v\,(cos^2\,\alpha + \lambda\, sin^2\,\alpha) = 19{,}61(0{,}707^2 \quad + 0{,}44 \times 0{,}707^2 \quad) = 14{,}12\ тс/м.$$

Горизонтальное растягивающее усилие на грань воронки по формуле (1)

$$N_h = \frac{1}{\gamma_c}\left(\gamma_f p_\alpha^n + \gamma_{f1} g\, cos\,\alpha\right)\frac{dz}{2\,sin\,\alpha} = \frac{1}{1}(14{,}12 + 1{,}1 \times 4{,}25 \times 0{,}707)\frac{1{,}6}{2\times 0{,}707} = 19{,}71 \text{ тс} =$$

19710 кгс.

Требуемая площадь горизонтальной арматуры [3]

$$A_s = \frac{N_h}{R_s \times 0{,}9} = \frac{19710}{3750 \cdot 0{,}9} = 5{,}84 \text{ см}^2. \qquad (13)$$

Принимаем 8 ∅10 А-III (на высоту наклонной стенки воронки 1700 мм);

$A_{s,fact} = 6{,}28$ см^2.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

С учетом нижней горизонтальной арматуры обвязочной балки 2∅12 А-III, принятой горизонтальной арматуры достаточно. Необходимо связать выпуски вертикальной арматуры сетки С1 и нижнюю горизонтальную арматуру обвязочной балки БО1.

Расчет *вертикальной арматуры усиления* стенки воронки.

Растягивающая (касательная) нагрузка на стенку воронки по формуле (2)

$$N_\tau = \frac{1}{\gamma_c}\left(\frac{p_v\ dz}{4\sin\alpha} + \frac{G}{4dz\sin\alpha}\right) = \frac{1}{1}\left(\frac{19{,}61*2{,}8}{4*0{,}707} + \frac{8{,}1}{4*2{,}8*0{,}707}\right) = 20{,}44\ \text{тс} = 20440\ \text{кгс}$$

Требуемая площадь вертикально-наклонной арматуры на грань воронки

$$A_s = \frac{N_\tau}{R_s\cdot 0{,}8} = \frac{20440}{3750\cdot 0{,}8} = 6{,}82\ \text{см}^2.$$

Принимаем на одну грань 11∅12 А-III (на ширину наклонной стенки воронки 2800 мм); $A_{s,fact} = 12{,}44$ см^2.

Необходимо связать выпуски вертикальной арматуры сетки С1 и нижнюю горизонтальную арматуру обвязочной балки БО1.

Восстановление воронок

Рекомендуется проводить ремонт трещин воронки силоса в два этапа.

1-й этап

Заполнить возможные пустоты всех *трещин* воронок силосного корпуса ремонтным раствором марки М200 на микроцементе методом инъектирования. Важно исключить попадание атмосферной влаги в трещины воронок крайнего ряда колонн. Многоцикловое замерзание и оттаивание воды, приводят к возникновению силовых трещин.

Методом инъектирования заполнить *трещины воронок* специальной эпоксидной смолой производства Sika Sikadur-31 CF Normal, предназначенной для структурного склеивания бетона, строго соблюдая технологию применения. Возможно также применить аналоги – эпоксидную смолу РЕКС АКВА ДЕНСИТ для ремонта, ремонтный состав СКРЕПА 500 и др.

Инъектирование применяется для повышения несущей способности и прочности железобетонных конструкций путём заполнения пустот и склеивания конструкций в зоне образования трещин. Для силового (структурного) усиления железобетонного элемента в трещину закачивается эпоксидная двухкомпонентная смесь, прочность и адгезия которой выше прочности бетона воронок (рис. 3).

Данная технология инъектирования применяется для ремонта трещин в железобетонных конструкциях, стенах и воронках силосов.

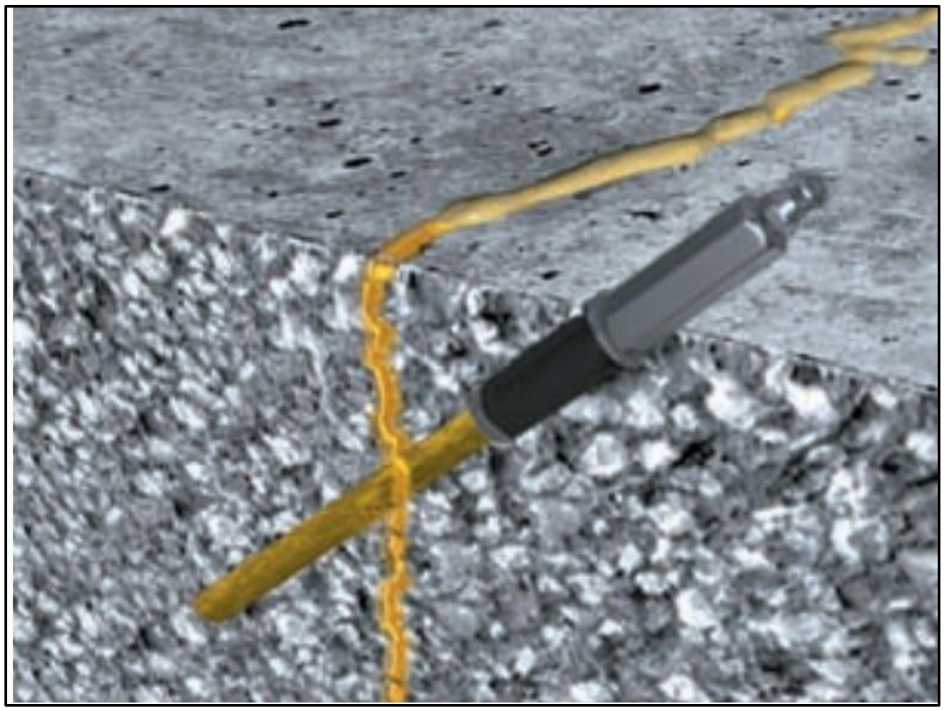


Рис. 3. Заполнение трещины методом инъектирования

Инъекционные материалы, которые в процессе полимеризации образуют жесткую систему (такие, как эпоксидные инъекционные смолы, жесткие полиуретаны) могут использоваться только в случае, если причина возникновения трещины была установлена и устранена, и, если этот материал не будет подвержен возможными подвижкам. В противном случае могут образовываться новые трещины.

Далее необходимо установить пластинчатые строительные маяки на трещины и завести журнал наблюдений за ними. Если трещина не стабилизировалась или возникла рядом, значит, причина её возникновения кроется не в заполнении шва. Тогда необходимо снова выполнить инъектирование трещины воронки и перейти ко второму этапу усиления.

2-й этап (в случае необходимости)

Этот этап заключается в поиске не типичных причин возникновения трещин (полное инструментальное обследование) и реализации дополнительного усиления воронок железобетонной обоймой.

Железобетонную обойму устраивают непосредственно по всем плоскостям воронки и далее одновременно бетонируют обвязочную балку. Армируют обойму вертикально-наклонными стержнями, а также горизонтальными стержнями.

Вертикально-наклонные стержни приваривают к рабочим продольным стержням обвязочной балки во всех точках пересечения, после чего выставляют специальную опалубку и нагнетают (инъецируют) под неё бетонную смесь.

Наиболее рационально, когда визуальное обследование содержит в своём составе ряд операций, являющихся подготовительными для работ по усилению воронок и устранению дефектов (очистка поверхности воронки, сверление шва и т.д.).

Рекомендации по устранению выявленных дефектов воронок и днищ силосных корпусов

1. Отмечены имеющиеся дефекты воронок силосов:

- выполнить зачистку воронок силосов с применением гидроструйного АВД (аппарата высокого давления);
- выполнить осмотр с выдачей дефектных ведомостей для каждой воронки;
- в период полной загрузки и разгрузки необходимо следить за стабильностью трещин воронок силосов;
- комплексно устранить обнаруженные дефекты и их наиболее распространённые причины возникновения.

2. Структурное склеивание трещин воронок методом инъектирования не менее 11 шт. в силосном корпусе СК-3.

При реконструкции воронок силоса приняты следующие технологические решения.

Толщина железобетонной обоймы принята 55 мм. Защитный слой арматуры 15 мм.

Бетон слоя усиления воронки класса В25 (М300).

Горизонтальная арматура усиления воронки - Ø10 А-III - гнутые стержни по контуру воронки (обрезать и вязать по месту).

Вертикально-наклонную арматуру воронки - Ø12 А-III завести в балку обвязочную и сварить с нижними продольными стержнями балки.

Вертикально-наклонные стержни - Ø12 А-III вязать с горизонтальной арматурой плиты усиления проволокой 0,5 мм.

Сетку усиления С1 соединить с существующей сеткой воронки (обнажить арматуру и приварить сетку к стержням через 600 мм в шахматном порядке. (Вариант 2. Сетку усиления С1 навесить на шпильки из арматуры Ø6 А-I с шагом 600 мм в шахматном порядке; шпильки устанавливаются в просверленные в бетоне отверстия и заполняются эпоксидно-цементным составом). Обвязочную балку выполнить из бетона класса В25 (М300).

Горизонтальная арматура балки - прямолинейная по сторонам воронки и гнутая в углах по контуру воронки. Длина анкеровки (перепуска) в углах 35d=35x12=420 мм. Арматуру обрезать по месту [4].

Гнутые замкнутые хомуты обвязочной балки БО1 выполнить из проволочной арматуры Ø6 В500С (или Ø8 В500С) и вязать с продольными стержнями балки.

Выполнение дополнительного усиления воронок железобетонной обоймой.

Железобетонную обойму устраивают непосредственно по всем плоскостям воронки и далее одновременно бетонируют обвязочную балку. Армируют обойму вертикально-наклонными стержнями, а также горизонтальными стержнями [5].

Вертикально-наклонные стержни приваривают к рабочим продольным стержням балки во всех точках пересечения, после чего выставляют специальную опалубку и нагнетают (инъецируют) под неё бетонную смесь.

Снятие опалубки через 3-5 дней. Выполняется зачистка, заполнение каверн, уход за бетоном.

В результате ремонта каждой воронки происходит полное восстановление прочностных и эксплуатационных свойств воронок силоса.

Заключение

В результате неправильной эксплуатации элеватора Серышевского заготовительного участка, в воронках силосов образовались трещины с недопустимой шириной раскрытия. Воронки находятся в неработоспособном или аварийном состоянии. Требуется ремонт и усиление воронок силоса.

Выполнен расчёт требуемой арматуры, необходимой для производства ремонтных работ по восстановлению эксплуатационных характеристик воронок силоса.

Разработаны меры (проектные решения) по восстановлению железобетонных воронок силоса при помощи железобетонной обоймы. Такое усиление позволяет восстановить эксплуатационные свойства объекта.

Усиления воронок производится при помощи железобетонной обоймы.

Железобетонную обойму устраивают непосредственно по всем плоскостям воронки и далее одновременно бетонируют обвязочную балку. Армируют обойму вертикально-наклонными стержнями и также горизонтальными стержнями.

Вертикально-наклонные стержни приваривают к рабочим продольным стержням балки во всех точках пересечения, после чего выставляют специальную опалубку и нагнетают (инъецируют) под неё бетонную смесь.

В результате ремонта каждой воронки происходит полное восстановление прочностных и эксплуатационных свойств сборных железобетонных воронок силоса, что позволяет сохранить урожай зерновых и бобовых для дальнейшего использования.

Список использованных источников:

1. Туров А.И. Ремонт стен силосного корпуса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_315.pdf.

2. Пособие по проектированию предприятий, зданий и сооружений по хранению и переработке зерна (к СНиП 2.10.05-85).- М.: ЦИТП Госстроя, 1985 – 86 с.

3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции / Минстрой России. – Взамен СНиП 52-01-2003 : введен 20.06.2019. – М. : НИЦ Строительство, 2018. – 149 с.

4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения (к СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции») - М.: ЦИТП Госстроя, 1986 – 308 с.

5. СП 108.13330.2012 Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна. - М.: Минрегион РФ, 2012. (актуализированная редакция СНиП 2.10.05-85) – 50 с.

==========

Цитирование:

Туров А.И. Восстановление работоспособности воронок силосного корпуса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_211.pdf.