



ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ ОПОРНИХ В'ЯЗІВ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ КОНІЧНОЇ ОБОЛОНКИ СТАЛЕВОЇ ЛІЙКИ СИЛОСА

В. П. Мущанов, І. В. Роменський, Д. І. Роменський

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: mvf@dgasa.dn.ua

Отримана 12 липня 2009; прийнята 25 вересня 2009

Анотація. У статті розглянуті основні питання підвищення надійності конічної оболонки сталеві лійки силосу для зберігання вугілля. Розглянуто основні підходи до дослідження напружено-деформованого стану металеві лійки силосу. Виконано аналітичний розрахунок напружено-деформованого стану лійки силосу з використанням ідеалізованої розрахункової схеми за методиками, запропонованими в нормативних документах. Виконано чисельний розрахунок напружено-деформованого стану лійки силосу за допомогою розрахункового комплексу SCAD. Розглянуто вплив на несучу здатність конічної оболонки додаткових опорних в'язів лійки у вигляді опорного кільця, що опирається по периметру на стійки. Розглянуто особливості зміни напружено-деформованого стану оболонки при частковому руйнуванні елементів кріплення лійки до залізобетонної циліндричної частини силосу. При цьому розглянуті варіанти як вільно висячої конічної оболонки, так і підкріпленої додатковими опорними конструкціями. На підставі виконаного аналітичного та чисельного розрахунків зроблені висновки та запропоновані рекомендації з проектування.

Ключові слова: металева конструкція лійки силосу, крайовий ефект, напружено-деформований стан, аналітичні та чисельні методи розрахунку.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ СВЯЗЕЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ СТАЛЬНОЙ ВОРОНКИ СИЛОСА

В. Ф. Мущанов, И. В. Роменский, Д. И. Роменский

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: mvf@dgasa.dn.ua

Получена 12 июля 2009; принята 25 вересня 2009

Аннотация. В статье рассмотрены основные вопросы повышения надежности конической оболочки стальной воронки силоса для хранения угля. Рассмотрены основные подходы к исследованию напряженно-деформированного состояния металлической воронки силоса. Выполнен аналитический расчет напряженно-деформированного состояния воронки силоса с использованием идеализированной расчетной схемы по методикам, предложенным в нормативных документах. Выполнен численный расчет напряженно-деформированного состояния воронки силоса при помощи расчетного комплекса SCAD. Рассмотрено влияние на несущую способность конической оболочки дополнительных опорных связей воронки в виде опорного кольца, опертого по периметру на стойки. Рассмотрены особенности изменения напряженно-деформированного состояния оболочки при частичном обрыве элементов крепления воронки к железобетонной цилиндрической части силоса. При этом, рассмотрены варианты как свободно висящей конической оболочки, так и подкрепленной дополнительными опорными конструкциями. На основании выполненного аналитического и численного расчета сделаны выводы и даны рекомендации по проектированию.

Ключевые слова: металлическая конструкция воронки силоса, краевой эффект, напряженно-деформированное состояние, аналитические и численные методы расчета.

RESEARCH OF INFLUENCE OF ADDITIONAL SUPPORTING JOINTS ON THE BEARING ABILITY OF THE STEEL SILO FUNNEL CONIC CASING

V. F. Mushchanov, I. V. Romensky, D. I. Romensky

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Derzhavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.

E-mail: mvf@dgasa.dn.ua

Received 12 July 2009; accepted 25 September 2009

Abstract. In the article the basic questions of reliability of increasing of silo steel funnel conic casing coal storage have been considered. Basic approaches to research of the tensional and deformed state of metal silo funnel have been considered. The analytical calculation of the tensional and deformed state of silo funnel has been carried out with using of the idealized calculation chart on methods, offered in normative documents has been fulfilled. The numeral calculation of the tensional and deformed state of silo funnel has been fulfilled by means of complex account SCAD. The influence on the bearing ability of conical casing of additional supporting joints in kind of supporting ring leaned along the perimeter on bars has been considered. The features of changing's of the tensional and deformed state of casing are considered while partial elements tearing of funnel fixing to the reinforced concrete cylindrical part of silo. Thus, the variants of both freely hanging conical casing are considered and supported with additional leaned constructions. On the basis of the fulfilled analytical and numeral calculation conclusions have been made and recommendation designing have been given.

Keywords: metal construction of silo funnel, regional effect, tensional and deformed state, analytical and numeral methods of calculation.

Введение

Как показывает опыт эксплуатации сталежелезобетонных силосов в результате уменьшения толщины оболочки (вследствие коррозионного и абразивного износа), а также различных конструктивных особенностей и технологических воздействий возможно разрушение узлов сопряжения стальной воронки с железобетонной цилиндрической стенкой. Это может привести и приводит к серьезным авариям, обусловленным явлением лавинообразного (прогрессирующего) [7, 8] обрушения воронки вследствие хрупкого разрушения элементов крепления. Имеется ряд конструктивных решений, в которых для повышения надежности силоса предлагается использовать дополнительные опорные конструкции для воронки в виде замкнутого кольца, прикрепленного к воронке и опертого на стойки, расположенные по периметру. Предполагается, что дополнительные опорные конструкции, обеспечат разгрузку узлов сопряжения ворон-

ки и стенки силоса, а в случае частичного или полного обрыва воронки будут препятствовать ее падению и тем самым значительно уменьшат последствия аварии. Целью данной работы является анализ напряженно-деформированного состояния конической оболочки воронки, прикрепленной к стенке силоса с помощью листовых накладок (языков), с учетом влияния дополнительных опорных конструкций.

1. Основные подходы к исследованию напряженно-деформированного состояния воронки силоса

1.1 Аналитический расчет пространственной оболочки воронки

В качестве объекта исследования принята конструкция силосов, применяемых на Авдеевском коксохимическом заводе (г. Авдеевка Донецкой области). Стальная воронка силоса имеет размеры: высота $h = 12.9$ м., диаметр снизу $d_1 = 1.0$ м.,

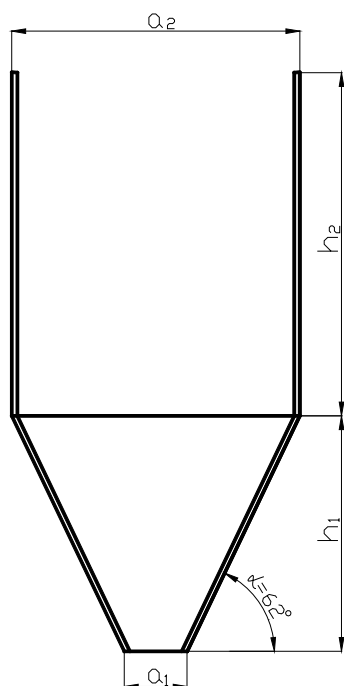


Рис. 1. Схема бункера: $a_1 = 1,0$ м, $a_2 = 12,8$ м, $h_1 = 12,9$ м, $\alpha = 66^\circ$.

диаметр сверху $d_2 = 12,8$ м (Рис. 1). Воронка состоит из 7 царг толщиной от 8 мм, в нижней части, до 10 мм, в месте крепления к железобетонной стенке силоса. Воронка прикреплена к цилиндрической части при помощи 134 языков, установленных с шагом 300 мм (рис. 2). Размеры “языка”: длина – 500 мм., ширина – 110 мм., толщина – 10 мм. Силос предназначен для хранения угля с плотностью $\gamma = 1,2$ т/м³. Объем силоса составляет 3009 м³, масса хранимого груза 3610,8 т, максимальная высота засыпки цилиндрической части бункера h_2 равна 18,74 м.

Для определения усилий и напряжений в воронке бункера произведен расчет по инженерной методике [1, 3, 6].

Элементы силоса рассчитываются на действие:

- постоянных нагрузок от собственного веса конструкции, веса футеровки;
- временных нагрузок от веса сыпучего материала.

Давление сыпучих тел на стенки силоса определяется в неограниченном массиве для состояния предельного равновесия сыпучего. Давление сыпучего определяется без учета сил трения материала о стенки и принимается направленным нормально к их плоскости (Рис. 3).



Рис. 2. Крепление воронки к стенке силоса с помощью листовых накладок (языков).

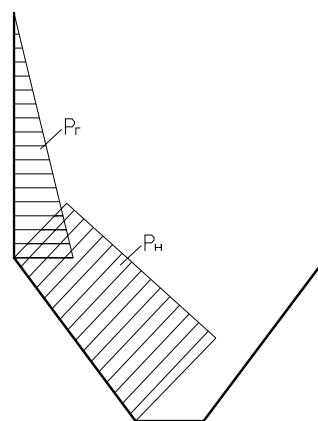


Рис. 3. Эпюра давления на стенки и воронку силоса.

В стенке воронки силоса возникают растягивающие усилия в 2-х направлениях: кольцевом и меридианальном. Кольцевое растягивающее усилие при высоте $h = 18,74$ м., соответствующей сопряжению цилиндрической части силоса с воронкой, составляет 898,9 кН/м, а меридианальные растягивающие усилия по направлению образующей конической оболочки соответственно 1191,3 кН/м

1.2 Численный расчет пространственной оболочки воронки

При аналитических методах расчета расчетная схема оболочки представляется идеализированной и не позволяет учесть ряд факторов, учитывающих действительную работу конструкции воронки. В отличие от аналитических методов, изложенных в п.1.1, расчет численными методами позволяет уточнить расчетную схему, учесть краевые



Рис. 4. Хрупкое разрушение «языка».

эффекты в местах крепления языков, задавать переменную толщину оболочки [9..14].

Для данного метода расчета применяется проектно-вычислительный комплекс SCAD 7.31. Расчетная схема воронки имеет следующие характеристики: количество узлов — 35882; количество конечных элементов — 36708; размер ячейки 5 x 30см, с постепенным сгущением к низу воронки.

Статический расчет системы выполнен в линейной постановке. В результате расчета получены усилия и перемещения в воронке силоса. Так в точке 1 (в месте соединения воронки со стенкой) уровень напряжений сравнительно не велик. Меридианальные напряжения равны 104,5 МПа; кольцевые — 118,5 МПа; приведенные — 112,0 МПа. Растягивающие усилия в «языке» равны $N=3240$ кН, что приводит к возникновению напряжений на 20%, превышающих расчетное сопротивление стали С255 по пределу текучести.

2. Численный расчет узла крепления воронки

Натурные исследования показали, что характер разрушения языка является хрупким (рис. 4). Для

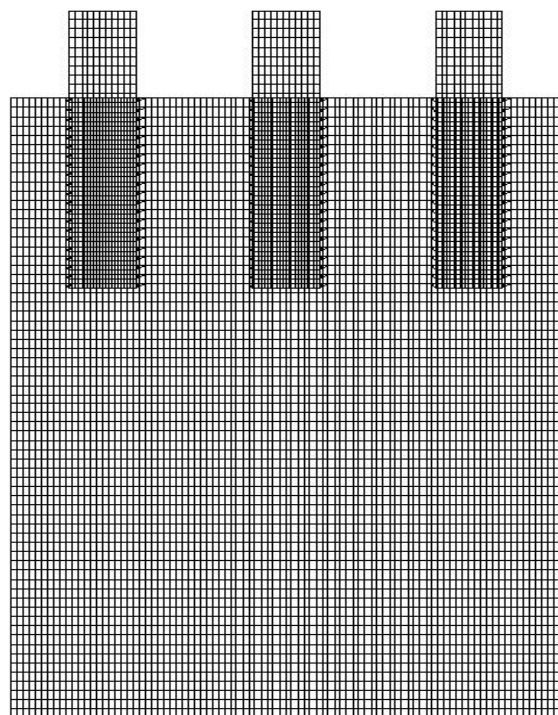


Рис. 5. Расчетная схема участка воронки в месте крепления к стенке с помощью «язычков»

уточнения распределения напряжений в языках, с учетом краевого эффекта в месте их крепления к воронке, необходимо выполнить уточненный расчет [4]. Для этого рассмотрен участок воронки размерами: 91см. по ширине и 100,5см. по высоте. Размер ячейки принимаем равный 1x1,5см (Рис. 5). Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. Расчетная схема состоит из 7372 узлов и 7327 конечных элементов. В качестве нагрузок для рассматриваемой расчетной схемы приняты соответствующие значения усилий, полученных при расчете воронки по инженерной методике. Значения напряжений, возникающих в языке, сварном шве и стенке участка воронки, приведены на рис. 6.

3. Исследование напряженно-деформированного состояния воронки силоса с учетом дополнительных опорных конструкций

Воронка силоса имеет такие же геометрические параметры, как и воронка, описанная в пункте 1.1. Отличием схемы №2 является наличие кольца жесткости (кольцевой балки) воронки (рис. 7), установленной на 8 колонн (рис. 8).

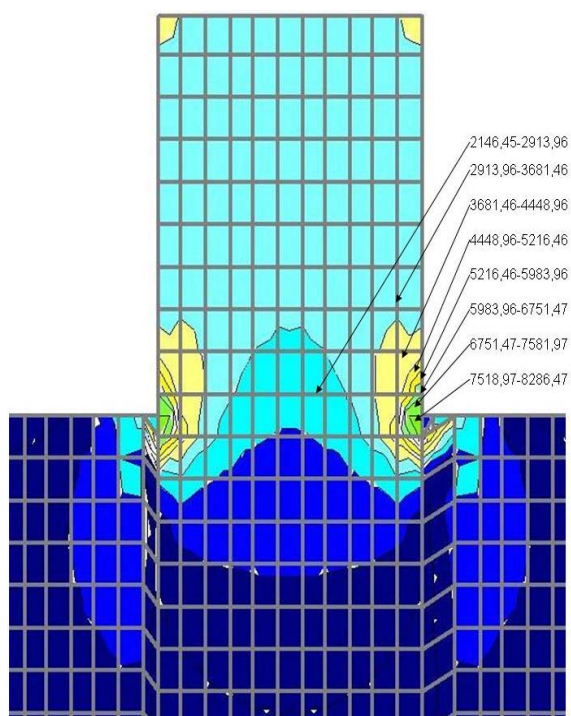


Рис. 6. Поля распределения кольцевых напряжений ($\text{кг}/\text{см}^2$) в элементе крепления («языке»), сварном шве и прилегающем участке стенки.

Кольцевая балка выполнена из углеродистой стали ВстЗпс6 имеет высоту $h = 1,13$ м и переменный диаметр. Состоит из двух колец, соединенных вертикальными ребрами. Верхнее кольцо имеет отметку по высоте 11,4 м., нижнее кольцо - 10,3 м. Колонны длиной 10 м. имеют двутавровое составное сечение: размерами 500х10 мм. и 400х30 мм. Колонны выполнены из стали ВстЗ кп2.

Проводим расчеты для 3-х вариантов воронки с кольцом жесткости:

- вариант 2а: нормальный режим эксплуатации (все языки закреплены),
- вариант 2б: аварийный режим эксплуатации (оторваны 25% «языков»),
- вариант 2в: аварийный режим эксплуатации (полный обрыв воронки).

Результаты расчета оболочки силоса по варианту 2а

Характерные точки для анализа напряженного состояния:

- точка 1 – на отметке 16,0 м в месте соединения «языков» с воронкой между стойками усиления;



Рис. 7. Кольцевая балка воронки.

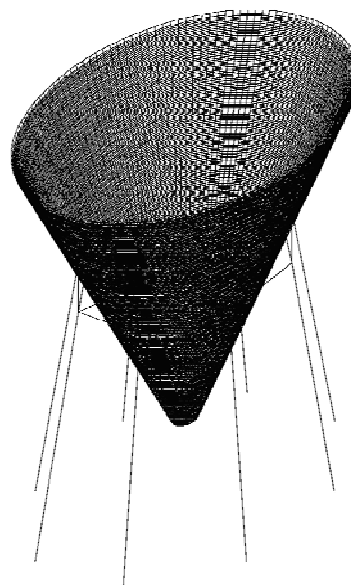


Рис. 8. Расчетная схема воронки.

- точка 2 – на отметке 16,0 м в месте соединения «языков» с воронкой над опорными стойками;
- точка 3 – на отметке 11,4 м в месте нахождения кольца жесткости.

Из анализа результатов видно, что установка кольца жесткости меняет картину напряженно-деформированного состояния в оболочке (рис. 9):

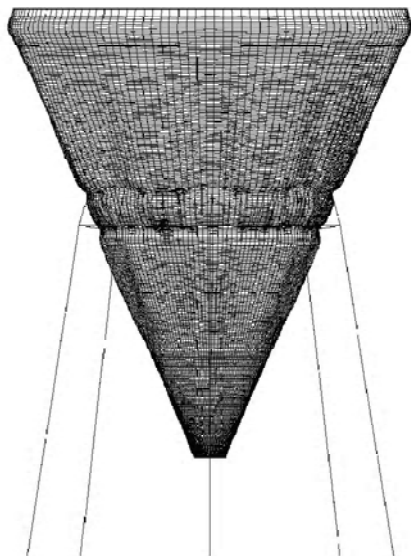


Рис. 9. Схема деформирования воронки.

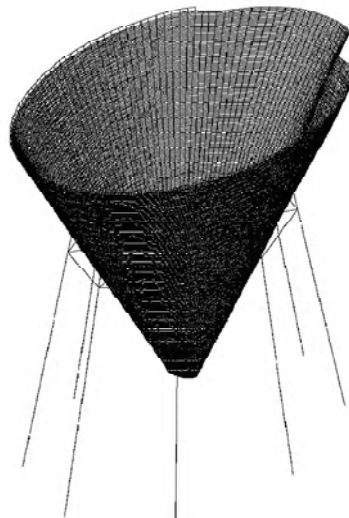


Рис. 10. Схема деформирования воронки при обрыве 25% «язычков».

Таблица 1. Сравнительные результаты расчета по схеме 1 и схеме 2 (вариант 2а).

№ точки	Меридианальные напряжения (МПа)	Кольцевые напряжения (МПа)
	Схема1/Схема2(Вар2а)	Схема1/Схема2(Вар2а)
1	96,9-104,4	110,8-118,5
	86,5-98,3	107,5-118,1
2	96,9-104,4	110,8-118,5
	86,5-98,3	118,1-128,7
3	52,1-59,6	72,3-79,9
	15,4-27,3	33,5-44,1
4	52,1-59,6	72,3-79,9
	27,3-39,1	75,8-86,4
5	52,1-59,6	72,3-79,9
	15,4-27,3	44,1-54,7

Таблица 2. Сравнительные результаты расчета по варианту 2а и варианту 2б.

№ точки	Меридианальные напряжения (МПа)	Кольцевые напряжения (МПа)
	Вар2а./Вар2б	Вар2а./Вар2б
1	86,5-98,3	107,5-118,1
	44,9-100,8	104,4-185,6
2	86,5-98,3	107,5-118,1
	-16,9-41,9	104,4-185,6
3	15,4-27,3	33,5-44,1
	-546,8-(-487,9)	22,3-104,4
4	27,3-39,1	75,8-86,4
	-75,8-(-16,9)	-220,1-(-138,9)
5	15,4-27,3	44,1-54,7
	-75,8-(-16,9)	22,3-104,4



Рис. 11. Разрушение воронки в месте обрыва «языков».

- над опорами уменьшаются меридианальные напряжения на 6-11%, но увеличиваются кольцевые напряжения на 6-8%;
- по границе верхнего кольца уменьшаются меридианальные напряжения на 54-70%, а кольцевые на 45-54%;
- в оболочке, соответствующей средней части кольца, уменьшаются меридианальные напряжения на 34-48%, но увеличиваются кольцевые напряжения на 5-8%;
- по границе нижнего кольца уменьшаются меридианальные напряжения на 54-70%, а кольцевые на 31-39%.

Результаты расчета оболочки силоса по варианту 2б

Характерные точки для анализа напряженно-го состояния такие же, как для варианта 2а. Сравнение результатов расчета приведены в таблице 2.

- точка 4 – на отметке 10,9 м в месте нахождения кольца жесткости,
- точка 5 – на отметке 10,3 м в месте нахождения кольца жесткости.

Усилия в «языках», расположенных между опорами составили 2720 кН, а в «языках», расположенных над опорами (в пределах ± 1 м от оси ноги в каждую сторону) равны 2930 кН. Усилие воспринимаемое одной колонной равно 4650 кН. Сравнение результатов расчета свободно висячей воронки и воронки подкрепленной опорными конструкция приведены в таблице 1.

Из анализа результатов видно, что установка кольца жесткости меняет картину напря-

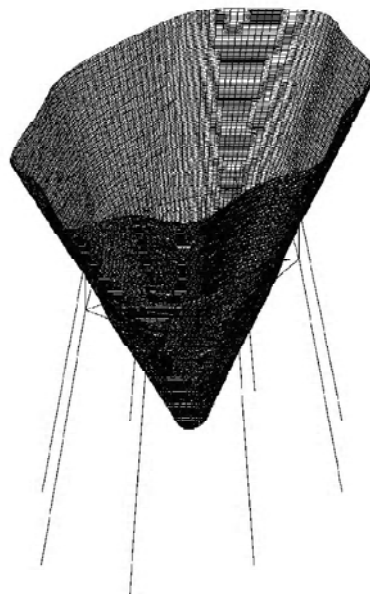


Рис. 12. Схема деформирования воронки при обрыве всех «языков».

женно-деформированного состояния в оболочке (рис. 9):

- над опорами уменьшаются меридианальные напряжения на 6-11%, но увеличиваются кольцевые напряжения на 6-8%;
- по границе верхнего кольца уменьшаются меридианальные напряжения на 54-70%, а кольцевые на 45-54%;
- в оболочке, соответствующей средней части кольца, уменьшаются меридианальные напряжения на 34-48%, но увеличиваются кольцевые напряжения на 5-8%;
- по границе нижнего кольца уменьшаются меридианальные напряжения на 54-70%, а кольцевые на 31-39%.

Результаты расчета оболочки силоса по варианту 2б

Характерные точки для анализа напряженно-го состояния такие же, как для варианта 2а. Сравнение результатов расчета приведены в таблице 2.

Из анализа результатов видно, что:

- обрыв 25% «языков» приводит к несимметричной деформации воронки, перемещение воронки по горизонтали составляет 7-8 см. (рис. 10).
- в участках оболочки под оборванными «языками» кольцевые напряжения составляют

Таблица 3. Сравнительные результаты расчета по варианту 2а и варианту 2в.

№ точки	Меридианальные напряжения (МПа)	Кольцевые напряжения (МПа)
	Var2а./Var2в	Var2а./Var2в
1	86,5-98,3	107,5-118,1
	-24,1-55,4	96,3-183,3
2	86,5-98,3	118,1-128,7
	-24,1-55,4	96,3-183,3
3	15,4-27,3	33,5-44,1
	-183,2-(-103,7)	-77,7-9,3
4	27,3-39,1	75,8-86,4
	-103,7-(-24,1)	9,3-9,6
5	15,4-27,3	44,1-54,7
	-103,7-(-24,1)	9,3-96,3

266,7-347,8 МПа, что может привести к разрушению воронки в этом месте (рис. 11)

- над опорами снижаются меридианальные напряжения на 48%, но увеличиваются кольцевые напряжения до 57%;
- над опорами в месте обрыва “языков” снижаются меридианальные напряжения на 120%, но увеличиваются кольцевые напряжения на 57%;
- по границе верхнего кольца меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 546,8 МПа. Увеличиваются кольцевые напряжения на 137%;
- по границе нижнего кольца меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 75,8 кг/см². Увеличиваются кольцевые напряжения на 91%;
- в “языках” возникают значительные напряжения, в 5-6 раз превышающие максимально допустимые и затухающие через 14-16 языков;
- максимальное усилие в колонне в месте под обрывом “языков” равно 11200 кН.

Результаты расчета оболочки силоса по варианту 2в

Характерные точки для анализа напряженного состояния такие же, как для варианта 2а. Сравнение результатов расчета приведены в таблице 3. Дополнительные опорные конструкции существенно меняют напряженно-деформиро-

ванное состояние оболочки воронки (рис. 12).

Из анализа результатов видно, что:

- над опорами меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 24,1 МПа. Увеличиваются кольцевые напряжения на 55%;
- над стойками усиления меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 24,1 МПа. Увеличиваются кольцевые напряжения на 42,5%;
- по границе верхнего кольца меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 183,2 МПа и в кольцевом направлении (напряжение становится 77,7 МПа);
- в оболочке соответствующей средней части кольца меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 103,7 МПа. Уменьшаются кольцевые напряжения на 87,7%;
- по границе нижнего кольца меняется работа воронки в меридианальном направлении, напряжение становится – 103,7 МПа. Увеличиваются кольцевые напряжения на 76,27%.

Анализ результатов расчета силоса по схеме №2

Результаты расчета оболочки силоса позволяют сделать вывод о причинах разрушения “языков”:

1. Установка дополнительных опорных

конструкций существенно разгружает конструкцию воронки, однако, ухудшает перераспределение нагрузок. В местах установки стоек усиления возникают силовые «мостики», которые увеличивают нагрузку на «языки» с 2720 до 2926 кН. Установка элементов усиления перераспределяет усилие в языках в пределах 5-12% и искажает напряженно-деформированное состояние воронки, как конической безмоментной оболочки.

2. Усилие, воспринимаемое одной колонной (вариант 2а) равно 4650 кН., при аварии (вариант 2в) усилие повышается до 5050 кН, что больше несущей способности стойки по критерию устойчивости из плоскости.

3. Общие выводы и рекомендации

На основании выполненного численного расчета напряженно-деформированного состояния металлической воронки силоса для хранения угля, а также анализа действующей в настоящее время норм [1..3], можно сделать следующие выводы:

1. Результаты расчета оболочки и натурное освидетельствование позволяют сделать предположительные выводы о возможных причинах разрушения языков:
 - величина напряжения в месте начала шва, прикрепляющего язык к воронке, быстро затухает при удалении от названной точки, что свидетельствует о высоком градиенте напряжения, обуславливающего возможность хрупкого разрушения металла. Этому же способствует и явление наклепа металла языка при многократных циклических нагружениях и напряжениях, превышающих предел текучести стали;
 - коррозия металла «языков» и сварных швов из-за влажности материала (угля);
 - ударные воздействия на воронку от падающего груза [5];
 - возможные отклонения в химическом составе стали;
 - сварочные напряжения и дефекты в сварных швах, выполняемых в сложных условиях.
2. Как показывают выполненные расчеты, при использовании в качестве материала языков

малоуглеродистой стали (С255) их несущая способность (при объеме засыпки 3009 м³) оказывается недостаточной. В качестве вариантов обеспечения несущей способности рассматриваемого конструктивного решения возможно предложить:

- а) ограничить предельный объем засыпаемого груза до 2291 м³, и соответственно высоту засыпки до $h_2 = 13,15$ м;
 - б) изменить конструкцию крепления языка к стенке воронки, которая бы обеспечила снижение величины концентраторов напряжений.
3. Следует отметить опасность явления лавинообразного (прогрессирующего) [7, 8] обрушения воронки вследствие хрупкого разрушения элементов ее крепления, что, к сожалению, имеет место при эксплуатации конструкций данного типа.
 4. Конструктивное решение воронки с кольцом жесткости, опирающимся на 8 стоек, приводит к:
 - перераспределению усилий в «языках» в пределах 5-12%;
 - поведению конструкции, не соответствующему общепринятому представлению о работе конической воронки силоса, при котором ее стенки, в отличие от планируемого безмоментного состояния, начинают воспринимать локальный изгиб. Этот факт в совокупности с дополнительными напряжениями, которые могут возникнуть при наступлении ситуаций, не регламентированных действующими нормами расчета и проектирования (резким температурным перепадом, местным коррозионным износом, значительными динамическими нагрузками и др.), может привести к возникновению суммарных напряжений, превышающих предел текучести стали, что является недопустимым для данного типа конструкций.
 5. В рассмотренном варианте частичного обрыва «языков» (25%) максимально нагруженного силоса:
 - в воронке в месте обрыва языков возникают существенные асимметричные перемещения воронки и значительные напряжения, что может являться причиной разрушения оболочки воронки в меридианаль-

- ном направлении;
- в “языках” возникают значительные дополнительные напряжения, в 5-6 раз превышающие максимально допустимые значения, затухающие через 14-16 языков.
6. В случае общего обрыва воронки максимально загруженного силоса, приводящего к изменению первоначальной расчетной схемы конструкции, необходимо предусмотреть конструктивные мероприятия, обеспечивающие геометрическую неизменяемость опорной конструкции.

Литература

1. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров/Ленпромстройпроект. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с.
2. СНиП III-18-75. Правила производства и приемки работ. – М.: Стройиздат, 1976. – 161 с.
3. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции/Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с.
4. Муцанов В.Ф., Роменский И.В., Роменский Д.И. Исследование влияния конструктивных особенностей опорного узла на несущую способность конической оболочки стальной воронки силоса/ Сборник научных трудов. «Современные строительные конструкции из металла и древесины.- Одесская государственная академия строительства и архитектуры.- Одесса, ООО «Внешреклам-сервис», 2009. – С.34-39.
5. Молодченко Г.А. Надежность сооружений силосного типа. – Харьков, 1981. – 52 с.
6. Листовые металлические конструкции / Е.Н. Лессиг, А.Ф. Лилеев, А.Г. Соколов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1970. – 488 с.
7. Еремеев П.Г. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях// Современное промышленное и гражданское строительство. - 2008. – Том 4, №3. – С.129-134.
8. Перельмутер А.В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций.// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2004, №6.
9. Муцанов В.Ф., Роменский И.В., Роменский Д.И. Исследование влияния конструктивных особенностей на несущую способность конической оболочки стальной воронки бункера концентрата угля// Современное промышленное и гражданское строительство.- 2008. – Том 4, № 3.- С. 135-144.
10. M.C.M. Bakker, T. Pekoz The finite element method for thin-walled members-basic principles // Thin-Walled Structures 41(2003). P. 179-189.
11. Rasiulis, Konstantin, Stress/strain state investigations for extreme points of thin wall cylindrical tanks, Journal of constructional steel research. ISSN 0143-974X. Oxford : Elsevier. Vol. 62, iss. 12, (2006), P. 1232-1237
12. Shell Structures, Theory and Applications (SSTA) : Proceedings of the 8th SSTA conference, Jurata, Poland, 12-14 October 2005
13. Martin Pircher, Russell Bridge, The influence of circumferential weld-induced imperfections on the buckling of silos and tanks // Journal of Constructional Steel Research 57 (2001). P.569-580
14. ISAAC Conference, 23-27 April, 2007, Tbilisi, Georgia Dedicated to the Centenary of I.Vekua, New mathematical models for thin-walled solid structures and projective methods for their solution.

Муцанов Володимир Пилипович д.т.н., професор працює завідувачем кафедри «Теоретична і прикладна механіка», проректором з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО. Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Роменський Ігор Вікторович к.т.н., доцент, працює доцентом кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: удосконалення методів розрахунку та проектування просторових металевих конструкцій.

Роменський Денис Ігорович є аспірантом кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Мушанов Владимир Филиппович д.т.н., профессор, работает заведующим кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», аудитор системы сертификации УкрСЕПРО. Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Роменский Игорь Викторович к.т.н., доцент, работает доцентом кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: совершенствование методов расчета и проектирования пространственных металлических конструкций.

Роменский Денис Игоревич является аспирантом кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Mushchanov Volodymyr Pylypovych doctor of technical sciences, professor the Head of “the Theoretical and Applied Mechanics” Chair, vice-principal on the scientific work of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization “Institute of Civil Engineer” and international organization of “Spatial Structures”, an auditor of certification UKRSEPRO system. The academician of the Engineering Academy in Ukraine. His research interests include the reliability theory, calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Romensky Igor Viktorovich the candidate of technical sciences, the assistant professor, of “the Metal Structures” Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His research interests include the perfection of calculation method and designing of spatial metal structures.

Romensky Denis Igorovich a post-graduate student of “the Theoretical and Applied Mechanics”, Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests include the calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.