

УДК 539.3

Расчет и проектирование элементов трубопроводов систем гидротранспорта

Оглобля А.И., д.т.н., Лившиц М.Н., Пархомович Г.С.

ГИ «УкрНИИводоканалпроект», Украина

Анотація. В роботі розглядаються особливості проектування напірного патрубку системи гідротранспорту пульпи. Досліджується міцність даної конструкції, яка складається із перехідного конуса, компенсатора та вертикальних елементів напірного пульповоду.

Аннотация. В работе рассматриваются особенности проектирования напорного патрубка системы гидротранспорта пульпы. Исследуется прочность данной конструкции, состоящей из переходного конуса, компенсатора и вертикальных элементов напорного пульповода.

Abstract. The peculiarities in design of delivery branch for pulp hydro transport system are under consideration. The strength of this structure, consisting of transition cone, compensator and vertical elements of delivery pipe line is investigated also.

Ключевые слова: система гидротранспорта пульпы, напорный патрубок, расчет и проектирование.

Хвостовое хозяйство горно-обогатительных комбинатов представляет собой сложную систему, состоящую из взаимодействующих подсистем, включающих в себя хвостохранилище, пульпонасосные станции, пульповоды, насосные станции осветленной воды, водосбросные колодцы шахтного типа, водозаборные сооружения сифонного типа, водоводы. Нормальная эксплуатация данного хвостового хозяйства обеспечивается бесперебойной работой систем гидротранспорта, складирования хвостов и возврата осветленной воды.

В настоящее время, получаемые после обогащения руды, жидкие отходы поступают в виде пульпы в пульпонасосные станции (ПНС) первого и последующих подъемов. Консистенция пульпы колеблется от 1:23 до 1:30. Установленными в ПНС землесосами поступившая пульпа перекачивается в хвостохранилища, емкость которых достигает величины сотен миллионов кубических метров. Выбор типоразмеров землесосов производится по расходу пульпы и суммарному напору, подсчитанному для принятых диаметров пульповодов, рассчитанных при скоростях движения пульпы, близких к критическим. Годовой объем перекачиваемой пульпы составляет 150-250 млн. м³ по каждому комбинату. Дальность транспортировки пульпы колеблется от 2 км до 6 км. Высота подачи превышает 50 м, что требует строительства пульпонасосных станций второго подъема.

Важнейшим фактором, определяющим бесперебойную работу систем гидротранспорта, является не только правильный выбор типов землесосов, но и выбор конструктивных решений элементов данной системы на основе прочностных расчетов. В данной работе рассматривается и анализируется работа переходного конуса напорного патрубка на землесосе, установленном в ПНС второго подъема. Напорный патрубок был разработан поставщиком землесоса и входил в его комплектацию.

Установленный на землесосе напорный патрубок в составе переходного конуса, компенсатора и вертикальных элементов напорного пульповода (рис. 1,а) при работе агрегата находится под давлением нагнетания, что составляет примерно 35 т вертикальной силы на патрубок (снизу вверх) и примерно равной ему силы давления на улитку землесоса, направленной сверху вниз. Эти силы почти уравниваются, за исключением собственного веса вертикального патрубка, конуса и компенсатора, передаваемого на фланец улитки, однако величина этой силы незначительная, так как пульповод опирается на плиту перекрытия зумпфов. Все усилия в этой силовой цепи последовательно передаются с одного элемента на другой и, естественно, все они и соединительные детали между ними должны выдерживать эти усилия.

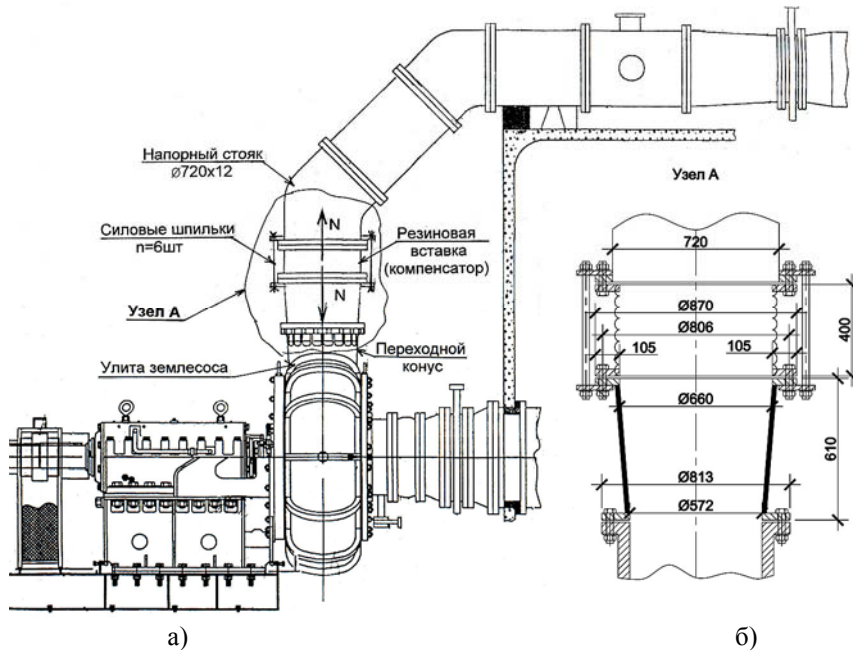


Рис. 1. Общая компоновка напорной линии:
а – общий вид; б – схема узла в составе переходного конуса, компенсатора и элементов напорного пульповода

Контрольними расчетами было определено, что самым слабым звеном в этой цепи является переходной конус (рис. 1,б) толщиной порядка 3,0 мм, но даже он имел бы значительный запас прочности при абсолютно жестком фланце. Дополнительными силовыми факторами, усложняющими обычную работу на растяжение, является то, что передача усилия с силовых шпилек компенсатора на верхний фланец переходного конуса выполнена со значительным смещением от конического элемента до точек приложения усилий от шпилек. При этом сам фланец работает как своеобразная тарельчатая пружина и ее деформация приводит к возникновению в местах приварки к конусу дополнительных напряжений (в конусе). Для оценки величины данных напряжений рассмотрен переходной конус, представляющий собой тонкостенную трубу конической формы и предназначен для соединения элементов землесоса с основной частью напорного стояка. Длина конуса составляет 0,61 м, диаметр нижнего основания – 0,572 м, верхнего – 0,660 м, а толщина стенки 3,4 мм. Верхнее и нижнее основания конуса окаймлены фланцами толщиной 30 мм. Диаметр нижнего фланца – 0,813 м, верхнего – 0,870 м. Для обеспечения пространственной жесткости по длине конуса предусмотрены два кольцевых ребра жесткости толщиной 16 мм.

Сопряжение переходного конуса с улитой землесоса выполнено в виде болтового соединения. Крепление к напорному стояку осуществляется через 6 стальных шпилек, расположенных в верхнем фланце. Следует отметить, что крепление шпилек к верхнему фланцу осуществляется через дополнительные накладки.

Основные размеры переходного конуса приведены на рис. 2,а.

Для изготовления переходного конуса используется сталь Ст3. В табл. 1 приведена марка и основные параметры стали, которая применялась в рассматриваемом элементе.

Таблица 1

Используемая сталь для конструкции конуса

№ п/п	Марка стали	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Предел текучести, Н/мм ²
1	Ст3	380	2300

В расчете приняты следующие значения физико-механических характеристик материала: модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{10}$ кг/м², коэффициент Пуассона $\mu = 0,27$, плотность $\rho = 7800$ кг/м³.

Учитывались следующие нагрузки:

- собственный вес конуса;
- внутреннее давление, прикладываемое к внутренней поверхности

конуса;
— сосредоточенные нагрузки, возникающие в шпильках.

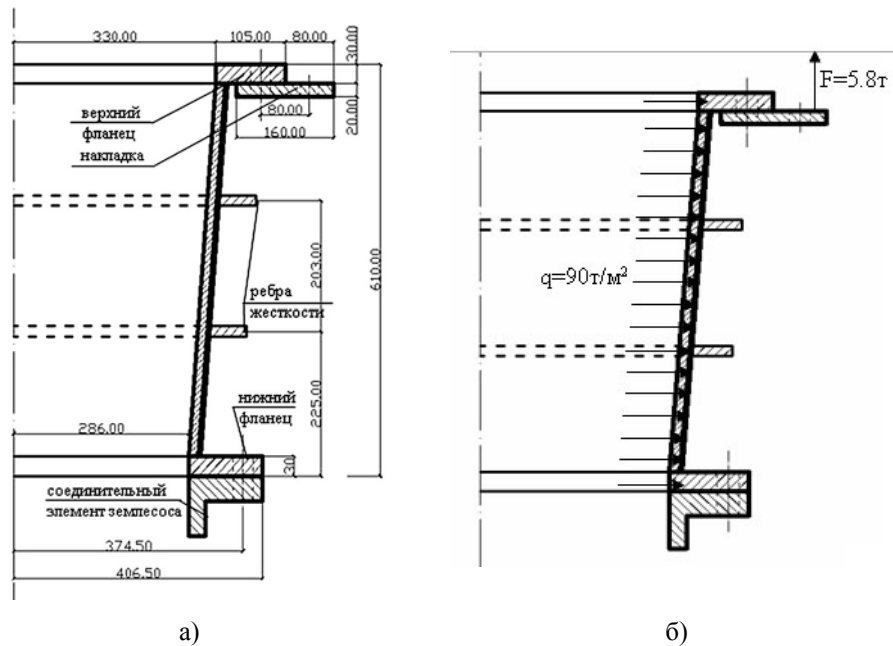


Рис. 2. Переходной конус:
а – основные размеры; б – схема приложения нагрузок

Характер распределения и величины прикладываемых нагрузок приведены на рис. 2,б.

При выполнении статического расчета рассмотрено одно сочетание нагрузок (табл. 2).

Таблица 2

Название нагрузки	Комбинация нагрузок
собственный вес	+
внутреннее давление	+
сосредоточенные силы, приложенные к шпилькам	+

При численном моделировании был принят ряд допущений и упрощений:

- нейтральные поверхности верхнего фланца и накладок совмещены в одной плоскости;
- сопряжения элементов конструкции приняты абсолютно жесткими;
- сопряжение конструктивных элементов выполнено по их нейтральной оси;

— сварные швы в модели не учитывались.

Геометрическая модель приведена на рис. 3,а. Для определения величин напряженно-деформированного состояния конуса конечно-элементная модель объекта выполнена в трехмерной постановке с использованием оболочечных конечных элементов (КЭ). Общий вид конечно-элементной модели конуса приведен на рис. 3,б.

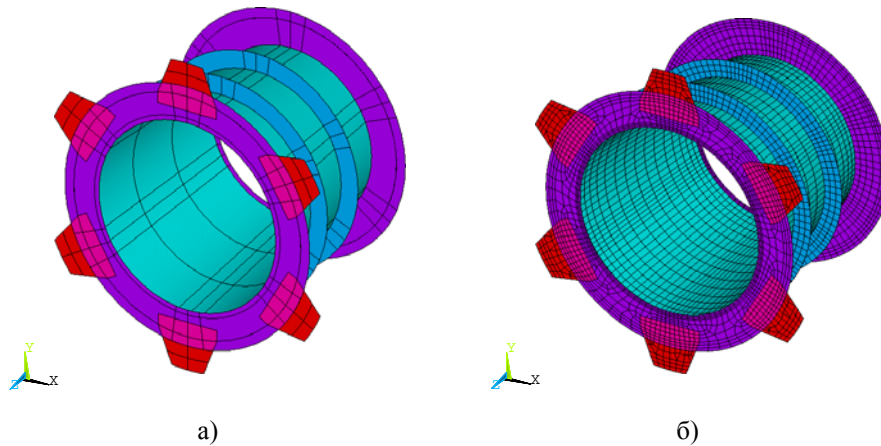


Рис. 3. Модель переходного конуса:
а – геометрическая; б – конечно-элементная

В расчетной схеме принято, что узлы, расположенные на нижнем фланце, жестко сопряжены с литой землесоса.

Полученные результаты подтверждают, что нагрузки, учтенные в расчете, приводят к равномерному деформированию конструкции. Анализ величин линейных перемещений, возникающих в элементах конструкции, показал, что перемещения стенки конуса в радиальном направлении (вдоль осей OX и OY) составили $U_x=U_z=0,06$ мм. Наибольшие величины линейных перемещений расположены в накладках на участках приложения сосредоточенных сил от шпилек. Распределение перемещений в направлении осей OX и OY не приводится ввиду малости их значений. Характер распределения перемещений в направлении оси OZ приведен на рис. 4.

Анализ напряжений, возникающих в элементах конструкции, показал, что наибольшие величины напряжений расположены на участке сопряжения верхнего фланца конуса с его стенкой. Величины и характер их распределения представлен в цилиндрической системе координат.

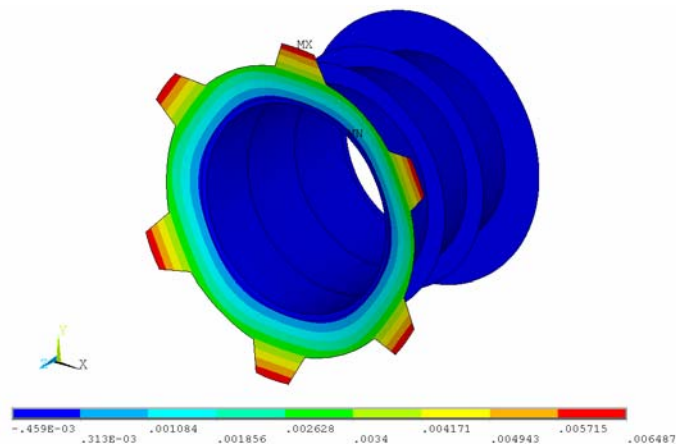


Рис. 4. Характер распределений перемещений UZ (м)

Наибольшие величины радиальных напряжений расположены в этом фланце, на участках его сопряжения с накладками. Значения растягивающих напряжений на этих участках достигают величины $S_y=42,5 \text{ кг/см}^2$. На рис. 5 приведены величины и характер распределения радиальных напряжений.

Максимальные величины кольцевых напряжений расположены в непосредственной близости от участка сопряжения верхнего фланца и конической части конструкции и уменьшают свои значения по мере удаления от него. Значение растягивающих напряжений в этой зоне достигает величины $S_y=1710 \text{ кг/см}^2$. На рис. 6 приведены величины и характер распределения кольцевых напряжений.

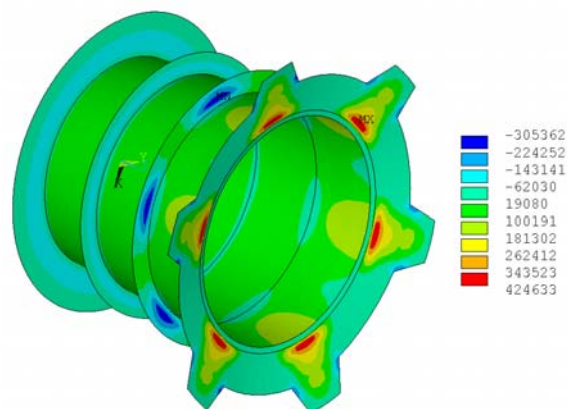


Рис. 5. Характер распределения радиальных напряжений (кг/м^2)

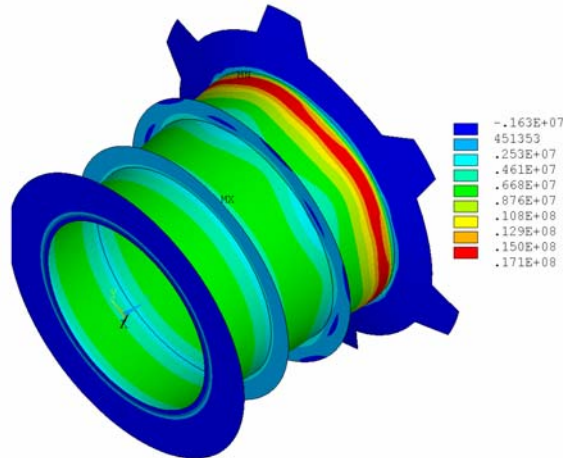


Рис. 6. Характер распределения кольцевых напряжений (кг/м²)

Меридиональные напряжения S_z характеризуются образованием чередующихся зон с растягивающими и сжимающими напряжениями в верхней зоне конической части конструкции. Величины напряжений изменяются в диапазоне от $S_y = -1150$ кг/см² до $S_y = 2510$ кг/см². На рис. 7 приведены величины и характер распределения меридиональных напряжений для наиболее нагруженного участка емкости.

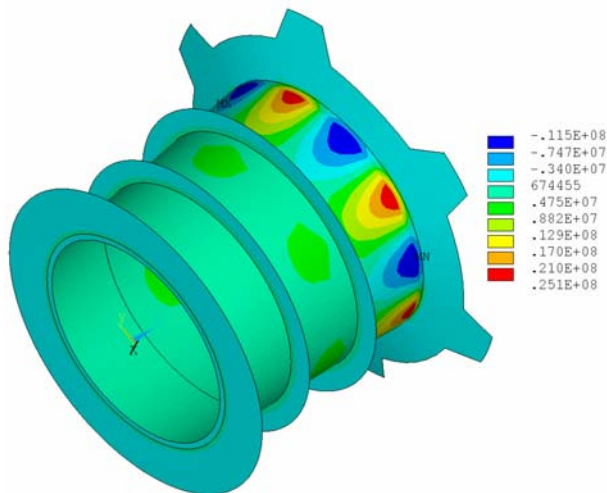


Рис. 7. Характер распределений меридиональных напряжений (кг/м²)

Анализ эквивалентных напряжений S_{von} (VonMises) показал, что взаимное влияние напряжений, возникших в элементах конструкции, приводит к

образованию наиболее напряженных зон в непосредственной близости от участка сопряжения верхнего фланца и конической части конструкции (рис. 8).

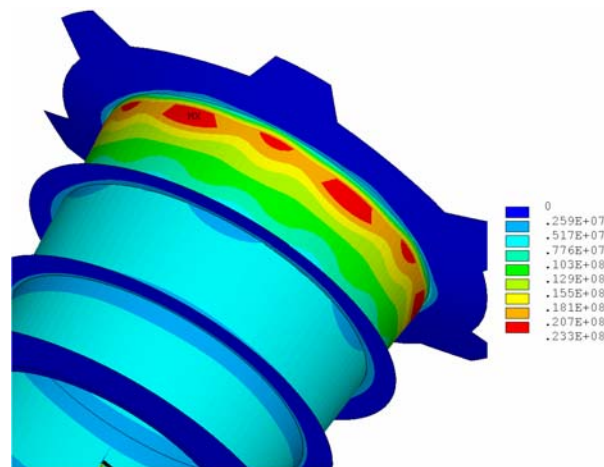


Рис. 8. Характер распределения напряжений S_{von} (кг/см²)

Максимальные значения эквивалентных напряжений достигают величины $S_{\text{von}}=2330$ кг/см².

Анализ результатов показывает, что, как и предполагалось, наиболее слабым элементом в конструкции напорного патрубка является тонкостенный переходной конус с приваренными к нему фланцами из-за передачи нагрузки на верхний фланец через разнесенные от оси шпильки. Рекомендуется использовать в качестве единого переходного элемента конус с толщиной стенки, равной толщине основной трубы.

Надійшла до редколегії 09.07.2009 р.