

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ FLOWVISION И ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ УДАЛЕНИИ ОТЛОЖЕНИЙ

Лукьянова И.Э., канд.техн.наук, доцент, Шмелев В.В.  
Уфа, УГНТУ, Москва, ООО «ТЕСИС»

## Описание проблемы и постановка задачи

Известно, что при хранении нефти и продуктов ее переработки часто используют стальные вертикальные цилиндрические резервуары. Во время эксплуатации на днищах резервуаров с нефтью могут образовываться и накапливаться значительные количества осадков, состоящих в основном из парафина [1]. Вследствие этого уменьшается полезная вместимость емкостей, оборачиваемость резервуарных парков, увеличивается стоимость хранения нефти из-за необходимости вывода резервуаров из эксплуатации и производства работ по их зачистке.



Рис.1. Внешний вид устройства «Тайфун».

Конструкция устройства рассчитана на работу в жидкостях с вязкостью до 40 сСт. Устройство своим пропеллером создает направленную затопленную струю жидкости, циклически перемещающуюся над днищем резервуара за счет автоматического привода поворота (см. рис 2). Струя перемешивает тяжелые парафиновые осадки и механические примеси, которые взвешиваются в общей массе нефти и затем удаляются путем откачивания нефти из резервуара.

Для обоснованных выводов о возможности безопасной эксплуатации указанных устройств была поставлена задача исследования поведения конструкции резервуара при возникающих в процессе размыва динамических нагрузках, обусловленных струйными течениями. Используя только аналитические методы либо композицию известных решений, решить подобную задачу не представляется возможным. Это обусловлено как сложностью описания работы устройства перемешивания [1], так и тем, что возникающее в резервуаре течение является существенно двухфазным, у которого физические свойства (плотность и вязкость) меняются не только во времени, но и в пространстве.

## Анализ путей решения задачи и обоснование комплексного подхода

Учитывая особенности постановки задачи, была предпринята попытка получения ее решения с использованием современных программных комплексов, реализующих численные методы расчета, как для моделирования напряженного состояния конструкции резервуара, так и для получения характеристик течения, определяющих нагрузки на днище и стенки резервуара.

В настоящее время для борьбы с донными отложениями на днищах стальных вертикальных резервуаров с нефтью используют устройства предотвращения и размыва осадка – размывочные головки, устройства «Диоген», «Тайфун» (см. рис.1) и т.п. Они предназначены для размыва и перемешивания отложений подвижной струей нефти в резервуарах различной емкости.

Работа этих устройств обеспечивает быстрый размыв донных отложений, даже накопленных в резервуаре за несколько лет эксплуатации.

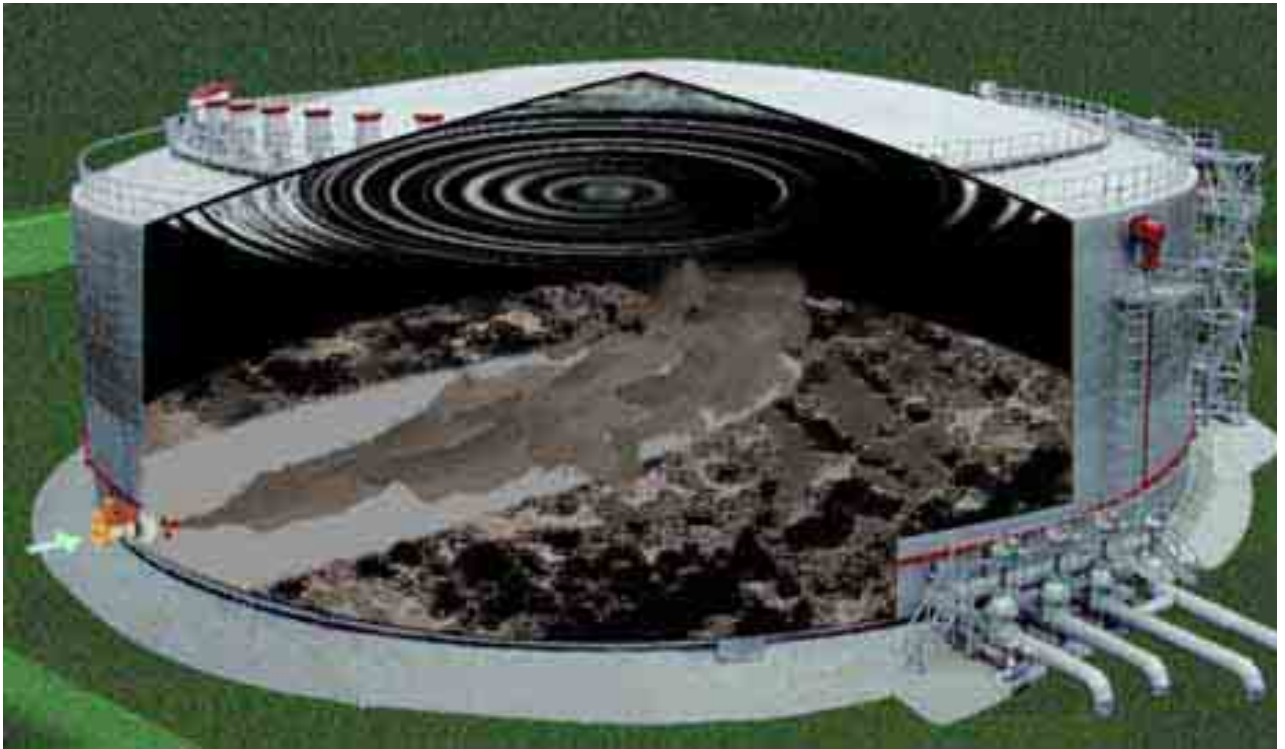


Рис.2. Размыв донных отложений устройством «Тайфун».

Необходимо отметить, что попытки решения указанной задачи с помощью численного моделирования уже предпринимались /2/. В указанной работе для получения решения использовались возможности программы инженерного анализа ANSYS в сочетании с входящим в ее состав модулем FLOTRAN. Моделировалось как течение и нагрузки в резервуаре при работе размывочной головки устройства эжектирующего типа, так и возникающее при этом напряженное состояние конструкции.

Положительным моментом полученного подхода следует считать использование для определения напряженного состояния резервуара хорошо зарекомендовавшего себя в подобных задачах программного комплекса ANSYS. К недостаткам предложенного в работе /2/ метода решения поставленной задачи в целом следует отнести ограниченные возможности модуля FLOTRAN для моделирования сложных гидродинамических процессов, и, как следствие, нагрузок на стенки резервуара. Дело в том, что в модуле FLOTRAN невозможно смоделировать работу устройств, отличных от рассмотренного в работе /2/ типа. На практике часто используются устройства, где рабочим элементом является винт, как, например, в устройствах «Диоген», «Тайфун». Существенным недостатком также является то, что в случае частично заполненного резервуара модуль FLOTRAN не позволяет смоделировать процесс волнообразования на границе раздела сред нефть-воздух, который с необходимостью порождается самим устройством и, чем меньше высота заполнения, тем более интенсивным является волнообразование. Далее, FLOTRAN не имеет возможности учета существенно отличающихся реологических свойств (плотность и вязкость) нефти и осадка, что приводит, в свою очередь, к отличию от реальной картины течения (скоростей, давлений, плотности смеси), и, как следствие, гидродинамических нагрузок на конструкцию резервуара. Кроме того, модуль FLOTRAN не позволяет получить процесс размыва, а, следовательно, и распределение нагрузок на стенки резервуара на различных его временных стадиях, от начала работы устройства до выхода на установившийся во времени процесс движения жидкости в резервуаре.

Отмеченные положительные возможности программы инженерного анализа ANSYS для определения напряженного состояния конструкции и, в то же время, ее ограниченность по определению гидродинамических характеристик течения, заставила авторов рассмотреть

возможность получения решения поставленной задачи в рамках совместного использования указанной программы и известного программного комплекса гидродинамических расчетов – FlowVision. Определяющим моментом в выборе этой программы стало то, что FlowVision, кроме широких возможностей моделирования течений, которые снимают все перечисленные выше ограничения, имеет интерфейс обмена результатами расчета с широко распространенными прочностными конечно-элементными программами, в том числе и с ANSYS.

### Постановка и решение гидродинамической части задачи

Чтобы оценить воздействие динамических нагрузок от струи нефти на стенку РВС, при помощи программного комплекса для гидродинамических расчетов FlowVision на первом этапе разработки расчетной методики были исследованы характеристики течения при работе винтового перемешивающего устройства. В ходе исследования были определены основные характеристики и особенности течения, присущие указанному типу перемешивающего устройства, а также были обоснованы возможности упрощения гидродинамической части общей задачи. Результаты исследований и проведенный анализ подробно авторами изложены в статье /3/. Здесь же отметим следующие характерные моменты.

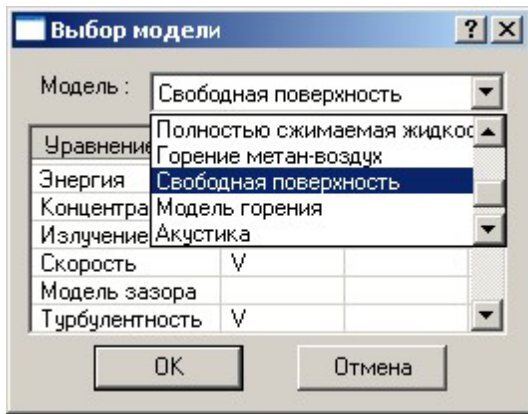


Рис.3. Выбор базовой модели.

поверхность (Free Surface) (см. рис.3).

В рамках данной модели базовыми являются уравнения: Навье-Стокса (“Скорость”), турбулентной энергии и ее диссипации (“Турбулентность”), а также определение границы

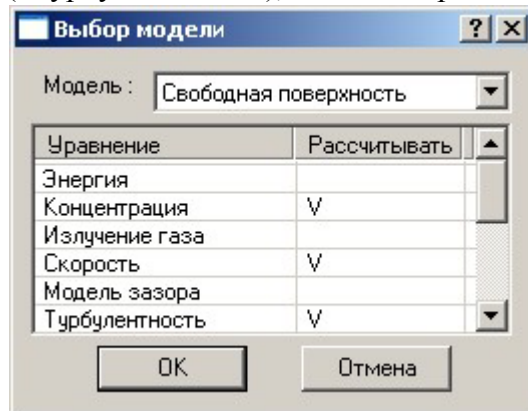


Рис.5. Дополнение базовых уравнений.

уплотненного осадка (см. рис.5). При этом в качестве модели массопереноса выбирается модель массовой концентрации (см. рис.6), которая описывает процесс перемешивания растворимых веществ, что соответствует рассматриваемым компонентам.

Для определения динамических нагрузок, возникающих при перемешивании продукта, хранящегося в вертикальном цилиндрическом стальном резервуаре, в качестве базовой гидродинамической модели была выбрана модель двухфазной (нефть и уплотненный осадок) несжимаемой жидкости дополненная уравнениями определения границы раздела сред нефть-воздух, имеющая в FlowVision название – Свободная

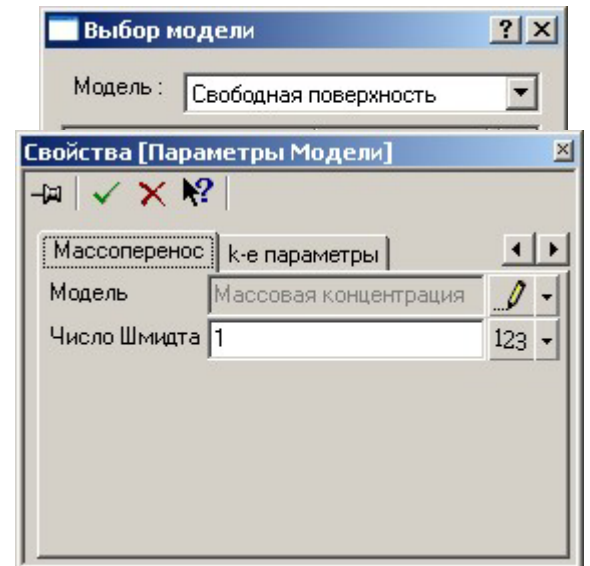


Рис.6. Выбор модели массопереноса.

(“Относительный объем жидкости в ячейке”) (см. рис.4). Учитывая, что существенным является учет изменения реологических свойств смеси, базовые уравнения дополняются определением

распределения концентрации веществ: нефти и уплотненного осадка (см. рис.5). При этом в качестве модели массопереноса выбирается модель массовой концентрации (см. рис.6), которая описывает процесс перемешивания растворимых веществ, что соответствует рассматриваемым компонентам.

Переходя к описанию получения решения по определению характеристик течения и нагрузок на стенки резервуара, необходимо отметить, что импорт исходной геометрии резервуара в программу FlowVision для решения поставленной задачи осуществляется непосредственно в виде конечно-элементной модели (см. рис.7), с использованием специальных приемов “препарирования”, которые будут обсуждаться ниже. Формат, в котором геометрия резервуара экспортируется из ANSYS, – “\*.cdb” – несет в себе всю необходимую информацию о структуре расчетной конечно-элементной сетки (см. рис.8). Суть же использования конечно-элементной модели в гидродинамических расчетах заключается в том, чтобы, не выходя из этой программы, по результатам проведенного расчета сформировать требуемые в нашем случае нагрузки на стенки резервуара непосредственно на фасетках расчетной конечно-элементной сетки. В программе FlowVision возможно определять как гидростатические, так и динамические нагрузки, обусловленные работой перемешивающего устройства. При этом расчетная конечно-

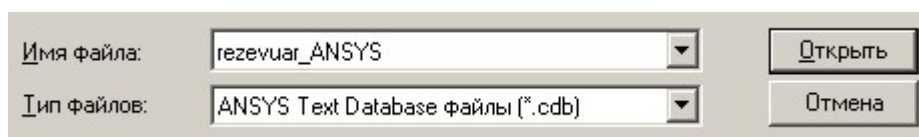


Рис.7. Импорт исходной геометрии.

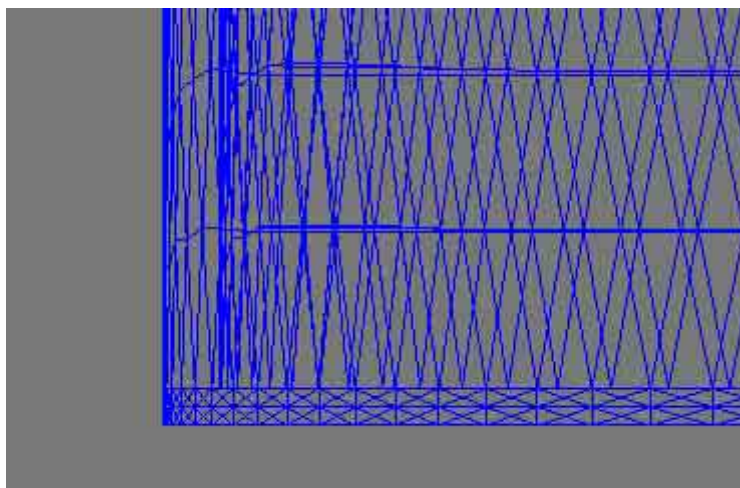


Рис.8. Фрагмент конечно-элементной модели резервуара, импортированной в FlowVision.

элементной программы для инженерного анализа ANSYS была создана модель вертикального стального цилиндрического резервуара РВС-5000 с установленным в соответствии с РД 153-39.4-057-00 /4/ устройством «Диоген-700» в нижнем поясе резервуара на крышке овального люк-лаза /5/.

При построении модели резервуара в ANSYS и импорте ее во FlowVision возникли сложности, связанные с невозможностью передачи в FlowVision оболочечных конечных элементов, которые используются в ANSYS для исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций. Использование на первых стадиях исследований объемных конечных элементов для моделирования и передачи в FlowVision объема жидкости, хранящейся в резервуаре, не привело к желаемому результату вследствие отсутствия в программе ANSYS команд для передачи нагрузок между конечными элементами разных типов.

Для решения возникшей проблемы было применено специальное “препарирование” конечно-элементной модели – создание дополнительной конструкции, с использованием 10-узловых объемных конечных элементов SOLID92. Модель резервуара, созданная в ANSYS, представляла собой толстостенный цилиндр, внутренней или наружной поверхностью повторяющий форму резервуара РВС. Верхние и нижние части объемного тела имели толщину 0,1 м, стенка цилиндра - 0,15 м, что позволило разбить конструкцию на

объемная сетка, генерируемая в FlowVision для расчета течения в резервуаре, строится исключительно исходя из требований гидродинамики, и не зависит от структуры конечно-элементной сетки. Последнее достигается благодаря наличию в FlowVision прогрессивного метода подсеточного разрешения.

#### **Постановка и решение задачи по определению напряженного состояния конструкции резервуара**

Для исследования поведения конструкции резервуара при возникающих в процессе размыва нагрузках при помощи конечно-

конечные элементы указанного выше типа. Характеристики материала задавались не влияющими на жесткость резервуара: модуль упругости составлял 5 МПа. Для импорта модели в FlowVision были использованы опции Preprocessor-Archive Model-Write-File.cdb. Эта конструкция и была импортирована в программу FlowVision.

Затем в рамках базовой гидродинамической двухфазной модели несжимаемой жидкости в FlowVision была решена гидродинамическая часть задачи. В результате нагрузки по фасеткам, определенные расчетом в FlowVision, были экспортированы в специальном формате, в виде текстового файла, каждая строка которого имела вид следующего типа - ELEM,1,SIDE,2,VALS,20088.7. Этот файл был преобразован в файл, содержащий команды SFE программы ANSYS (например, указанная строка после преобразования выглядит так: SFE,1,2,PRES,1,20088.7). Команды были прочитаны в ANSYS, и соответствующие нагрузки приложены к твердотельной оболочечной модели резервуара. Затем с использованием оболочечных конечных элементов Shell63 с заданными константами и свойствами материала, соответствующими стали, был проведен прочностной расчет. Это позволило определить напряжения и перемещения стенки резервуара РВС-5000м<sup>3</sup>.

Таким образом, совместное использование программ инженерного анализа ANSYS и FlowVision, в сочетании с разработанными упрощениями гидродинамической модели и приемами препарирования оболочечной конечно-элементной модели, позволили найти способ корректного решения задачи об исследовании поведения конструкции резервуара при возникающих в процессе размыва нагрузках без каких-либо ограничений. Разделение общей задачи на две позволило не только решить каждую в своей специализированной программе, но и для решения каждой использовать все возможные программные и аппаратные ресурсы.

#### Литература

1. Оборудование резервуаров: учебное пособие для вузов / Н.И.Коновалов, Ф.М.Мустафин, Г.Е.Коробков, Р.А.Ахияров, И.Э. Лукьянова. – 2-е изд., перераб. и доп.- Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2005. – 214 с.
2. Галиакбаров В.Ф., Салихова Ю.Р. Расчет гидродинамических характеристик процесса перемешивания нефтепродуктов в резервуарах. / Нефтегазовое дело, 2003. – <http://www.ogbus.ru>
3. Лукьянова И.Э., Шмелев В.В. Методические вопросы построения моделей в среде FlowVision для комплексного исследования процессов удаления отложений в нефтяных резервуарах. / Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч.ст. - Уфа, УГНТУ, 2005. – №18. - С.25-37.
4. Технология проведения работ по предотвращению образования и удалению из резервуаров донных отложений. Руководящий документ. РД 153-39.4-057-00. Москва. 2000.-22 с.
5. Лукьянова И.Э. Влияние дополнительных нагрузок на напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров / Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч.ст. - Уфа, Изд-во УГНТУ, 2004. - №15. - С.74-78.