

УДК 122.692.4.502.55

**ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПЕРЕМЕННОГО ОБЪЕМА****Д.А. БАБИЧЕВ***(Тюменский государственный нефтегазовый университет)*

*Исследуется сокращение выбросов углеводородов в атмосферу при эксплуатации резервуарных парков. Предлагается решить озвученную проблему посредством разработки конструкции резервуара, обеспечивающей надежность и экологичность эксплуатации, а также сохранение качества хранимого продукта. При этом решаются задачи оперативного мониторинга рабочего органа резервуара – гибкой оболочки – посредством разработки методики расчета динамических нагрузок, действующих на гибкую цилиндрическую оболочку, и компьютерного моделирования поведения гибкой оболочки при проведении технологических операций.*

**Введение**

Западная Сибирь является крупнейшим поставщиком нефти в Российской Федерации. На ее территории находятся магистральные нефтепроводы общей протяженностью около 17 тыс. км, из них в Тюменской области 8 тыс. км, 83 нефтеперекачивающие станции, резервуарные парки общей вместимостью более 2,5 млн. м<sup>3</sup>. По данным Комитета Госстатистики, выбросы углеводородов в атмосферу Тюменской области ежегодно составляют более 600 тыс. тонн, и их количество с каждым годом увеличивается. Это связано с несовершенством технических средств и технологических процессов транспортировки и хранения нефти.

Так как современные резервуары обладают рядом определенных недостатков, возникает необходимость разработки новой конструкции резервуара, обеспечивающую надежность и экологичность эксплуатации, а также сохранение качества хранимого продукта.

**Предлагаемая конструкция резервуара**

В основу предлагаемой конструкции резервуара положен принцип хранения нефти и нефтепродуктов под избыточным давлением, создаваемым столбом жидкости над хранимым продуктом.

Предлагается резервуар следующей конструкции (рис. 1): заглубленный в землю бассейн прямоугольной формы, заполненный технической жидкостью, необходимой для создания избыточного давления над хранимым продуктом. Непосредственно нефть хранится в гибкой цилиндрической оболочке, которая в порожнем состоянии приплюснута к дну резервуара давлением воды, а при заполнении нефтью постепенно приобретает цилиндрическую форму. Гибкая оболочка закрепляется на дне резервуара анкерными устройствами для предотвращения ее всплытия вследствие разности плотностей воды и нефти.

При использовании резервуара предлагаемой конструкции полностью исключаются потери от «больших дыханий», так как при сливноналивных операциях в резервуаре никогда не образуется газовой фазы. Потери от «малых дыханий» также исключены по причине отсутствия газовой фазы и создания режима хранения, близкого к изотермическому.

Для эффективной эксплуатации резервуаров данной конструкции предлагаются технологические и конструктивные решения.

*Система поддержания давления (СПД)* – включает в себя насосную станцию, аварийную емкость, две линии трубопроводов с задвижками – основную и сбросную.

Насосная станция предназначена для заполнения резервуарного парка технической жидкостью, а также для создания циркуляции воды, что необходимо для предотвращения ее замерзания в зимнее время. Данная проблема может решаться вводом в техническую воду веществ, понижающих температуру ее застывания, либо подогревом технической жидкости.

*Первая линия трубопроводов* – основная, предназначена непосредственно для поддержания давления в резервуарах над гибкой оболочкой и работает по принципу сообщающихся сосудов.

*Вторая линия трубопроводов* – сбросная, предназначена для сброса воды при переполнении бассейна. При достижении в сливном коллекторе избыточного давления выше допустимого открывается задвижка в сбросной трубопровод (рис. 2) и излишек воды, по сбросной линии, поступает в аварийную емкость.

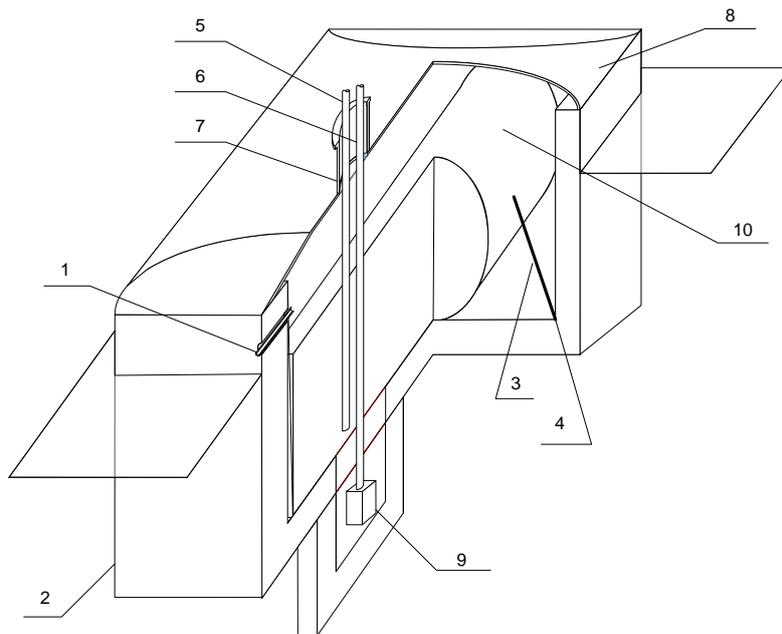


Рис. 1. Принципиальная схема резервуара:

- 1 – напорный трубопровод для воды; 2 – бетонная оболочка резервуара; 3 – удерживающие тросы;  
 4 – анкерные устройства; 5 – напорный трубопровод для нефти; 6 – сливной трубопровод для нефти;  
 7 – технический люк-лаз; 8 – стальная крыша резервуара;  
 9 – погружной насос; 10 – гибкая нефтесодержащая оболочка

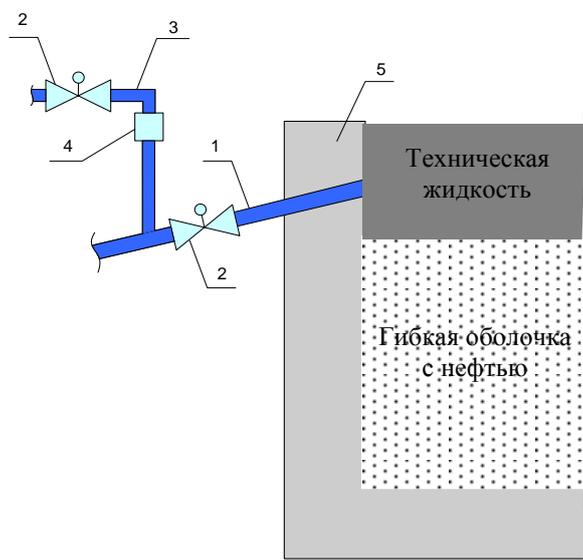


Рис. 2. Система предохранения резервуара от перелива технической жидкости:

- 1 – сливной трубопровод СПД; 2 – задвижка с электроприводом; 3 – сбросной коллектор;  
 4 – датчик давления; 5 – бетонная оболочка резервуара (бассейн)

Заполнение гибкой оболочки производится через верх с помощью гибкого рукава, соединенного со стальным патрубком, на котором установлена задвижка. Слив нефти из резервуара предлагается проводить с помощью погружного насоса, находящегося в железобетонном стакане на дне резервуара. Слив, также как и налив, предлагается производить через горловину резервуара с помощью гибкого рукава, соединенного со стальным сливным патрубком с задвижкой.

Во время слива не требуется закрытие задвижек сливного патрубка СПД. Для обеспечения циркуляции воды предусмотрена система обхода резервуара, включающая в себя линию водопровода и систему задвижек (рис. 3).

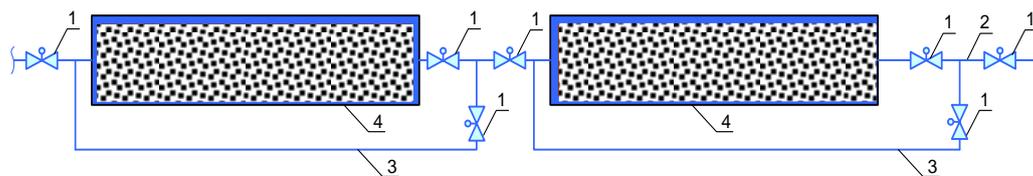


Рис. 3. Система поддержания избыточного давления технической жидкости:  
 1 – задвижка с электроприводом; 2 – напорный коллектор СПД;  
 3 – обводной коллектор СПД; 4 – резервуар

### Проект профиля гибкой оболочки

Прогнозирование состояния нефтесодержащей оболочки под нагрузкой – важная задача при проектировании предлагаемого резервуара.

Для определения профиля гибкой оболочки с нефтью, а также нагрузок, действующих на нее, была разработана программа, в основу которой положена принципиально новая методика определения деформирующих нагрузок, действующих на гибкую цилиндрическую оболочку (рис. 4).

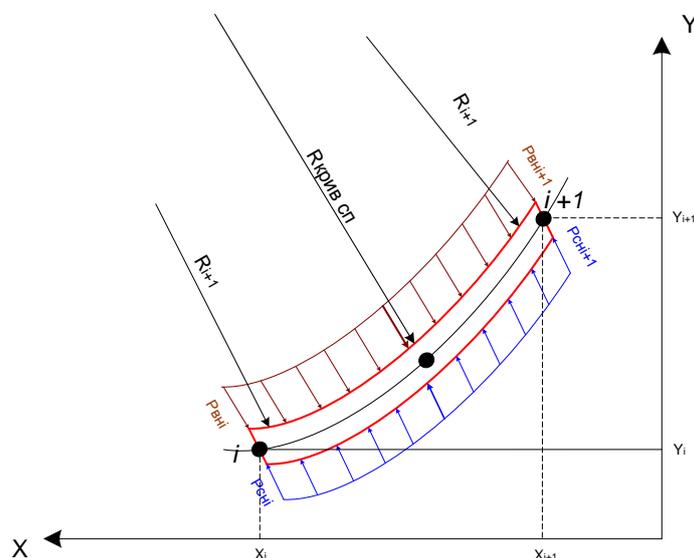


Рис. 4. Схема сил, действующих на конечный элемент гибкой оболочки

Основная расчетная зависимость радиуса кривизны оболочки от давлений и сил, действующих на нее для плавающего конечного элемента, выглядит следующим образом:

$$R_{крив} = \frac{T}{P_{вн} - P_{сн}}, \tag{1}$$

где  $R_{крив}$  – радиус кривизны оболочки, м;  $T$  – удельное усилие растяжения в расчетной точке, МН/м;  $P_{вн}$  – давление внутри трубы в расчетной точке, МПа;  $P_{сн}$  – давление снаружи трубы в расчетной точке, МПа.

Внутреннее давление в расчетной точке гибкой оболочки будет зависеть от того, в каком слое хранимого продукта находится расчетная точка.

Для оболочки участка, лежащего на дне, радиус кривизны стремится к бесконечности. Но для компьютерной реализации предлагаемой методики необходимо ввести число. Примем  $R_{крив} = 999999$  м.

*Внутреннее давление будет равно*

*- для первого слоя:*

$$P_{вн} = P_{во} - 0,00981(Y_{прим} - Y_0), \tag{2}$$

где  $P_{во}$  – давление в нижней точке оболочки, т.е. избыточное, по отношению к атмосферному давлению нефти, МПа;  $Y_{прим}$  – примерная  $Y$ -координата расчетной точки;  $Y_0$  – расстояние от нижней (нулевой) точки оболочки до грунта, м.

- для второго слоя:

$$P_{вн} = P_{изб1} - 0,00981(Y_{прим} - H_{в1}), \quad (3)$$

где  $P_{изб1}$  – избыточное давление первого слоя, МПа;  $Y_{прим}$  – примерная  $Y$ -координата расчетной точки;  $H_{в1}$  – верхняя отметка первого слоя, м;

- для третьего слоя:

$$P_{вн} = P_{изб2} - 0,00981(Y_{прим} - H_{в2}), \quad (4)$$

где  $P_{изб2}$  – избыточное давление второго слоя, МПа;  $Y_{прим}$  – примерная  $Y$ -координата расчетной точки;  $H_{в2}$  – верхняя отметка второго слоя, м.

Наружное давление в расчетной точке гибкой оболочки будет зависеть от того, в каком наружном слое находится расчетная точка.

Если примерная  $Y$ -координата расчетной точки находится выше верхней отметки третьего наружного слоя, то  $P_{сн} = 0$ .

Если примерная  $Y$ -координата расчетной точки находится выше верхней отметки второго наружного слоя, то наружное давление рассчитывается по формуле:

$$P_{сн} = 0,00981\rho_{сн3}(H_3 - Y_{коор.р.т.}), \quad (5)$$

где  $\rho_{сн3}$  – плотность третьего слоя, кг/м<sup>3</sup>;  $H_3$  – верхняя отметка третьего слоя;  $Y_{коор.р.т.}$  –  $Y$ -координата расчетной точки.

Если примерная  $Y$ -координата расчетной точки находится выше верхней отметки первого наружного слоя, то наружное давление рассчитывается по формуле:

$$P_{сн} = P_{H1} + 0,00981\rho_{сн2}(H_2 - Y_{коор.р.т.}), \quad (6)$$

где  $P_{H1}$  – давление вне трубы на этой отметке, МПа;  $\rho_{сн2}$  – плотность второго слоя, кг/м<sup>3</sup>;  $H_2$  – верхняя отметка второго слоя;  $Y_{коор.р.т.}$  –  $Y$ -координата расчетной точки.

*Удельное усилие растяжения в расчетной точке:*

- для всех точек, лежащих ниже точек крепления тросов, удельное усилие равно удельному усилию в нижней точке оболочки  $T = T_0$ ;

- для всех точек, расположенных выше точек крепления тросов, удельное усилие равно

$$T = T_0 + T_T, \quad (7)$$

где  $T_0$  – удельное усилие в нижней точке оболочки, Н/м;  $T_T$  – удельное усилие в тросе для удерживаемой оболочки, Н/м.

Удельное усилие в нижней точке оболочки находится методом последовательных приближений (итераций). Критерием окончательной итерации принимается замкнутость оболочки.

Главная особенность построенной математической модели гибкой оболочки – необходимость итерационных вычислений с целью получения гладкого замкнутого профиля оболочки. Для этого используется надстройка «Поиск решения», имеющаяся в EXCEL и предназначенная, в том числе, для нахождения минимума функции. В нашем случае ее используем для нахождения трех переменных:  $L_0$ ,  $T_T$ ,  $T_0$ , при которых целевая функция  $\Delta$  стремится к нулю.

Принципиальный алгоритм расчета представлен на рисунке 5.

Выходные формы программы – рисунок 6.

Программа предназначена для определения профиля гибкой оболочки, находящейся под нагрузкой, содержащей до трех разнофазных сред внутри и имеющей до трех разнофазных сред снаружи, а также для определения нагрузок, действующих на нее.

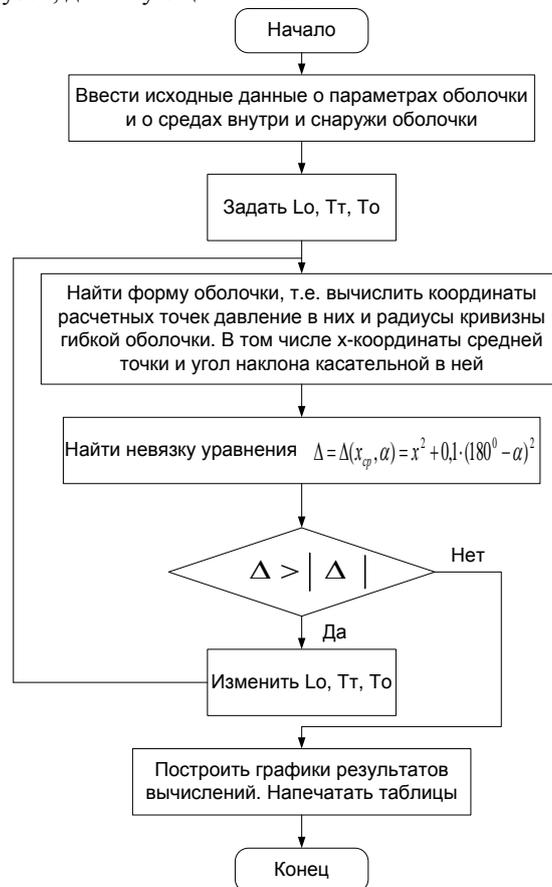


Рис. 5. Принципиальный алгоритм расчета

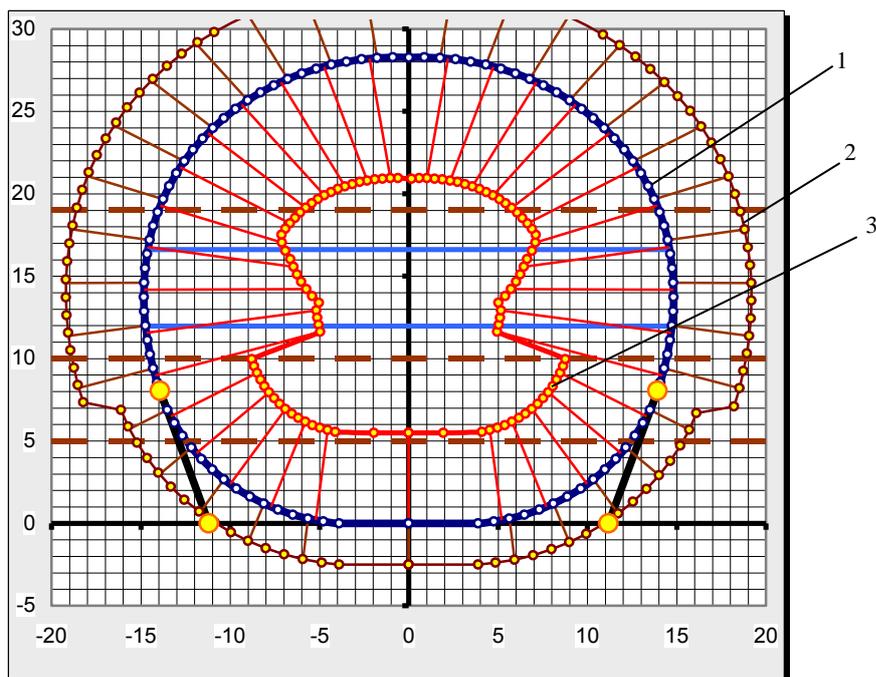


Рис. 6. Выходные формы программы:  
1 – профиль гибкой оболочки; 2 – эпюра напряжений в гибкой оболочке;  
3 – эпюра радиусов кривизн профиля оболочки

#### **Основные выводы и результаты работы**

1. Предложена принципиально новая конструкция резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов, позволяющая полностью избежать потери от «больших» и «малых дыханий». Использование данной конструкции возможно для оснащения резервуарных парков различной вместимости, оборачиваемости и назначения.

2. Использование синтетических материалов в конструкции предлагаемого резервуара позволяет повысить срок его службы до 50-ти лет.

3. Разработана методика расчета гибкой оболочки, положенная в основу программы для определения нагрузок на гибкую нефтесодержащую оболочку и построения ее профиля.

4. Применение новой конструкции повышает надежность резервуаров, снижает вредные выбросы и пожарную опасность резервуарных парков.

5. Решается проблема стратегического хранения продукта без потери его качества

6. Оформлены заявки на патент конструкции и на авторское свидетельство программы.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, В.Ф. Новоселов и др. – М.: Недра, 1981.
2. О температурах закипания нефтей и бензинов в емкостях транспорта и хранилищ / Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, Д.М. Саттарова и др. // Нефтепромысловое дело и транспорт нефти. – 1984. – № 5.
3. Бударов И.П. Потери от испарения моторных топлив при хранении. – М.: ВНИИСТ, 1961.
4. Иванов Н.Д. Эксплуатационные и аварийные потери нефтепродуктов и борьба с ними. – М.: Недра, 1973.
5. Типовые расчеты при проектировании нефтебаз и нефтепроводов: Учеб. пособие для вузов / П.И. Тугунов, Н.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 658 с.
6. Хранение нефти и нефтепродуктов: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2003. – 536 с.