

УДК 614.8.084

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ И РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ
ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА,
В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

**FORECASTING THE OF DAMAGING FACTORS RANGE
AND THE SAFE OPERATION RESOURCE OF RESERVOIRS MADE
FROM POLYMER COMPOSITE MATERIAL UNDER CONDITIONS
OF MINUS TEMPERATURES**

Н.С. Шириева, Р.Р. Тляшева, Е.А. Наумкин, А.А. Прохоров

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»,

г. Тюмень, Российская Федерация

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

г. Уфа, Российская Федерация

Nadezhda S. Shirieva, Rezeda R. Tlyasheva, Evgeniy A. Naumkin,

Aleksandr A. Prokhorov

KogalymNIPIneft Branch LUKOIL-Engineering LLC,

Tyumen, Russian Federation

Ufa State Petroleum Technological University,

Ufa, Russian Federation

e-mail: belyaevans90@gmail.com

Аннотация. Буровые площадки относятся к опасным производственным объектам. В регионах Арктики и Крайнего Севера буровые площадки, как правило, находятся на значительном удалении от промышленных центров, аварийно-спасательных формирований и

пожарных депо, в летний период могут не иметь подъезда, а в зимний период транспортное сообщение осуществляется только по зимникам или авиатранспортом. При бурении скважин для автономной работы энергетического оборудования необходим значительный запас топлива и горюче-смазочных материалов. Для этих целей используется различное емкостное оборудование, в том числе мягкие (эластичные) резервуары. При проектировании подобных объектов достаточными должны быть технические решения, направленные на предотвращение аварий и инцидентов, а оборудование должно подбираться с высоким уровнем эксплуатационной надежности.

В статье классифицированы нагрузки и воздействия, которые возникают в процессе эксплуатации резервуаров. Проведено исследование деформационных и прочностных свойств материала резервуаров как инструмента оценки надежности оборудования, в том числе при низких температурах. Предложен подход к оценке безопасного остаточного эксплуатационного ресурса резервуаров.

Проведен сравнительный расчет значений интенсивностей теплового излучения в результате пожара на резервуарах при различных температурах окружающего воздуха. Определено, что температура воздуха оказывает влияние на дальность зоны действия поражающих факторов при аварии.

Abstract. Drilling sites are hazardous production facilities. In the regions of the Arctic and the Far North, drilling sites, as a rule, are located at a considerable distance from industrial centers, emergency rescue teams and fire stations, in the summer they may not have access, and in the winter, transport links are only available via winter roads or air transport. When drilling wells, autonomous operation of power equipment requires a significant supply of fuel and fuels and lubricants. For these purposes, various capacitive equipment is used, including soft (elastic) tanks. When designing such facilities, technical

solutions aimed at preventing accidents and incidents should be sufficient, and equipment should be selected with a high level of operational reliability.

The article classifies the loads and impacts that arise during the operation of tanks. The study of the deformation and strength properties of the material of tanks as a tool for assessing the reliability of equipment, including at low temperatures. An approach to assessing the safe residual operational life of reservoirs is proposed.

A comparative calculation of the values of the intensities of thermal radiation as a result of a fire on the tanks at various ambient temperatures was carried out. It was determined that air temperature affects the range of the zone of action of damaging factors in an accident.

Ключевые слова: резервуар; интенсивность теплового излучения; пожар пролива; криогенные условия; прочность

Key words: storage tank; intensity thermal radiation; pool fire; cryogenic conditions; strength

Площадки для строительства нефтяных и газовых скважин на Находкинском, Южно-Мессояхском, Салекаптском, Хальмерпаютинском, Варейском и Восточно-Таймырском лицензионных участках располагаются на значительном удалении от промышленных центров, аварийно-спасательных формирований (АСФ) и пожарных депо, в летний период могут не иметь подъезда, а в зимний период транспортное сообщение осуществляться только по зимникам или авиатранспортом. С целью обеспечения автономной работы в период строительства скважин на буровую площадку завозится большой объем нефтепродуктов для выработки электроэнергии дизель-генераторными станциями.

На отдаленных автономных месторождениях экономически выгодным вариантом хранения топлива (нефтепродуктов) являются эластичные (мягкие) резервуары ввиду быстрого проведения монтажных работ и их

компактности при транспортировке. С 2014 г. существует опыт применения резервуаров в «ЛУКОЙЛ-Коми», также эластичные (мягкие) резервуары применялись при строительстве скважины 1П на Восточно-Таймырском лицензионном участке (ВТЛУ). Эластичные (мягкие) резервуары использовались для хранения топлив и быстрого разворачивания складов горюче-смазочных материалов (ГСМ) на отдаленных месторождениях ПАО «Роснефть» и ПАО «Газпром».

В связи с освоением месторождений на Крайнем Севере и перспективой освоения Арктики, учитывая имеющиеся факты разрушения эластичных (мягких) резервуаров, актуальными становятся задача безопасной эксплуатации нефтегазового оборудования и оценка влияния на эксплуатационную надежность фактора низких температур. Поскольку исследования, связанные с эксплуатацией оборудования в экстремальных климатических условиях, в большинстве случаев можно реализовать только экспериментально, целью работы является *исследование деформационных и прочностных свойств материала резервуаров как инструмента оценки надежности и безопасного остаточного эксплуатационного ресурса при комплексном воздействии механических нагрузок и низких температур.*

Определенный интерес также представляют оценка создаваемой реальной угрозы в случае возникновения аварийной ситуации и прогнозирование воздействия поражающих факторов в условиях отрицательных температур.

Резинотканевые резервуары (РТР) стали использоваться для нужд военно-промышленного комплекса в качестве оборудования для хранения ГСМ в 1953 г. РТР выпускались на заводах по производству резинотехнических изделий, в том числе в ОАО «Ярославрезинотехника» (г. Ярославль). В 1993 г. производство РТР на территории России прекращено ввиду значительных недостатков, таких как хрупкость резин при отрицательных температурах, влияние внутреннего слоя материала на

качество топлив, а также снижение адгезии внутреннего и внешнего слоев по причине вымывания сажи и пластификаторов под влиянием нефтепродуктов.

В 2007 г. в ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России» разработаны конструкция и материал эластичных резервуаров, в которых отсутствовали вышеперечисленные недостатки. Конструкция (эластичного) мягкого резервуара защищена Патентом РФ 2304553 [1]. На рынке представлены и другие модели эластичных (мягких) резервуаров [2]. Существует два типа конструкций эластичных (мягких) резервуаров: сферическая [3] и подушечная [1, 2, 4]. В настоящее время большее распространение получили резервуары подушечной формы.

В нефтегазовой отрасли применяются также эластичные (мягкие) резервуары подводного исполнения. Первые морские резервуары проектировались без днища, нефть хранилась на водяной подушке. Позднее был предложен ряд подводных нефтехранилищ, имеющих днище [5].

Материал, из которого изготавливаются резервуары для хранения жидкостей, в том числе нефтепродуктов, состоит из пленок эластомеров с различной функциональной нагрузкой и тканевой синтетической основы.

Защитный слой (эластомер) частично воспринимает механические напряжения, определяет монолитность материала. Силовой слой (ткань) воспринимает механические напряжения, определяя основные механические свойства: прочность, деформативность, жесткость. Барьерный слой (пленка) препятствует диффузии хранимой жидкости, не вступает с ней в реакцию, частично воспринимает механические напряжения.

Эксплуатация резервуаров осуществляется в условиях нагрузок и различного рода воздействий. На рисунке 1 приведена классификация нагрузок, возникающих при эксплуатации резервуара.

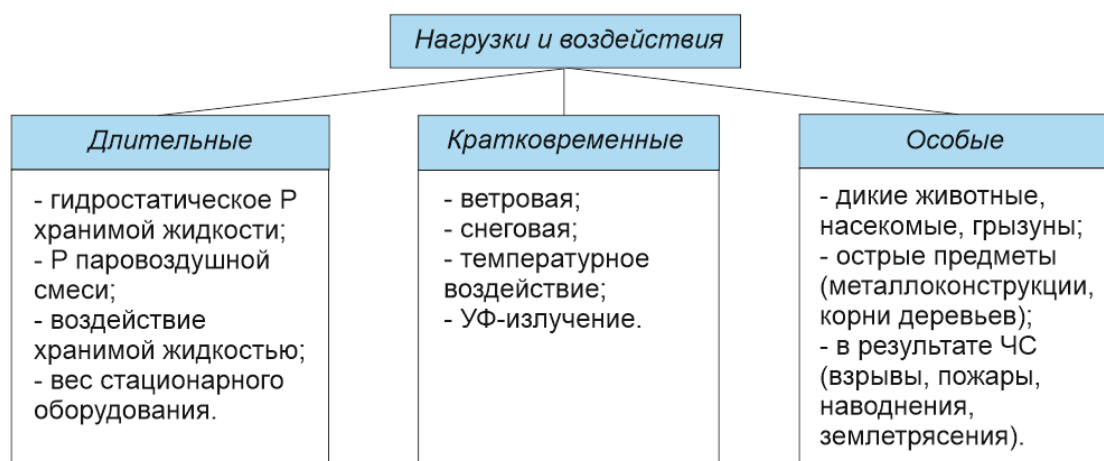


Рисунок 1. Классификация нагрузок и воздействий, которым подвергается резервуар в процессе эксплуатации

Кроме механических воздействий (растягивающие нагрузки при заполнении, удар посторонними предметами) оболочки конструкций эластичных (мягких) резервуаров подвержены химическому и термическому воздействиям.

Несмотря на то, что материал является качественным, отсутствуют данные о предельном сроке службы, методиках контроля (помимо визуального) и отбраковки резервуара в процессе эксплуатации. Многие конструкционные материалы обладают анизотропными свойствами, поэтому возникает вопрос, как поведет себя материал при разных схемах нагружения.

В связи с вышеизложенным, актуальным представляется проведение *исследований поведения материала при разных схемах нагружения: одноосном и двухосном*. Одноосное выполнялось при нормальных и отрицательных температурах с применением растягивающих усилий, а двухосное – при разрушении внутренним давлением. Такие исследования являются междисциплинарными и базируются на использовании методов механики сплошных сред и материаловедения.

Для определения механических свойств эластомерных и композитных материалов используются методики, основанные на одноосном и

двухосном нагружении образцов. Основу методики проведения экспериментов по двуосному нагружению эластомеров заложил L.R.G. Treloar [6].

Испытания материала осуществлялись в два этапа. На первом этапе нагружение давлением проводилось вдоль и поперек осей армирования эластичного (мягкого) резервуара до разрушения образцов. Измерения линейных размеров образцов проводились в исходном состоянии и после разрушения.

Одноосное растяжение проводилось при следующих температурах:

- стандартная температура 20 °С;
- отрицательные температуры: 0 °С, минус 20 °С, минус 30 °С, минус 40 °С и минус 60 °С.

Всего было подвергнуто одноосному растяжению 30 образцов в виде лопаток по ГОСТ 270-75 [7]. Толщина материала по среднему значению замеров 30 образцов составила 0,97 мм.

Испытания проводились на установке для статических и циклических испытаний конструкционных материалов Instron 8801 с программным обеспечением.

Определено, что прочность материала отличается вдоль и поперек осей армирования в 1,4 раза. Это говорит о том, что материал является анизотропным и обладает различными свойствами в зависимости от направления осей. Предел прочности вдоль материала составляет 79,7 МПа, а поперек – 56,4 МПа.

Установлено, что по величине разрывной нагрузки материал соответствует характеристикам завода-изготовителя.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что у материала присутствуют область упругого и пластического деформирования.

График зависимости деформации от прикладываемого напряжения представлен на рисунке 2.

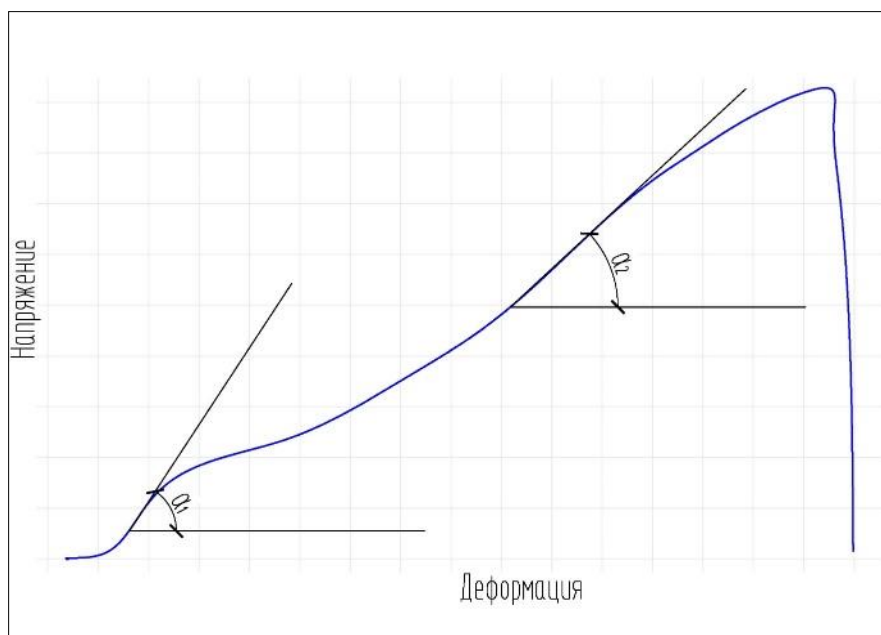


Рисунок 2. Зависимость деформации от прикладываемого напряжения

При разработке месторождений Крайнего Севера эксплуатация эластичных (мягких) резервуаров часто осуществляется в зимний период. С целью изучения свойств материала при отрицательных температурах были проведены испытания с одноосным растяжением образцов. Испытания проводились на установке растяжения ИР 5113-100 с использованием криогенной камеры, оснащенной холодильным агрегатом (рисунок 3). Данная камера позволяет провести охлаждение до минус 30 °С, для создания более низких температур был использован этиловый спирт и жидкий азот.

На рисунке 4 видно, что с понижением температуры до минус 40 °С нагрузка, требующаяся для разрыва образца, возрастает, а с дальнейшим понижением температуры начинает падать. Предел прочности при этом при нормальной температуре вдоль волокон составляет – 77,3 МПа, а поперек – 54,8 МПа.



Рисунок 3. Общий вид установки растяжения ИР 5113-100 и криогенной камеры

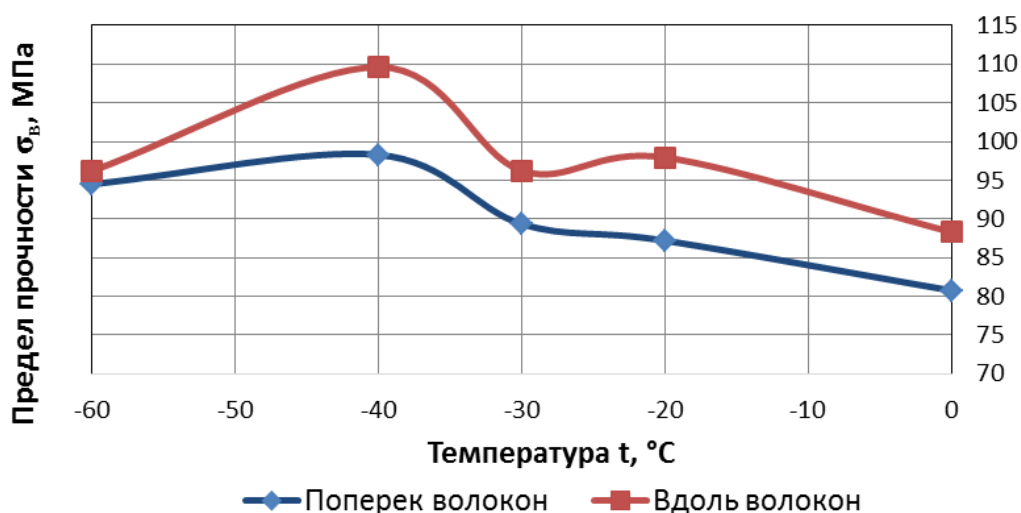


Рисунок 4. Зависимость предела прочности от температуры испытания

При понижении температуры материал теряет свою эластичность, эластомерный слой твердеет и часть нагрузки воспринимает на себя, тем самым повышая прочность материала. О потере эластичности материала говорит и уменьшение времени, необходимого для разрыва образцов (приблизительно в 2 раза вдоль и приблизительно в 1,5 раза поперек оси армирования) при понижении температуры от 0 °C до минус 60 °C.

Потерю эластичности материала демонстрируют и зависимости относительного удлинения образцов до разрыва от температуры (рисунок 5).

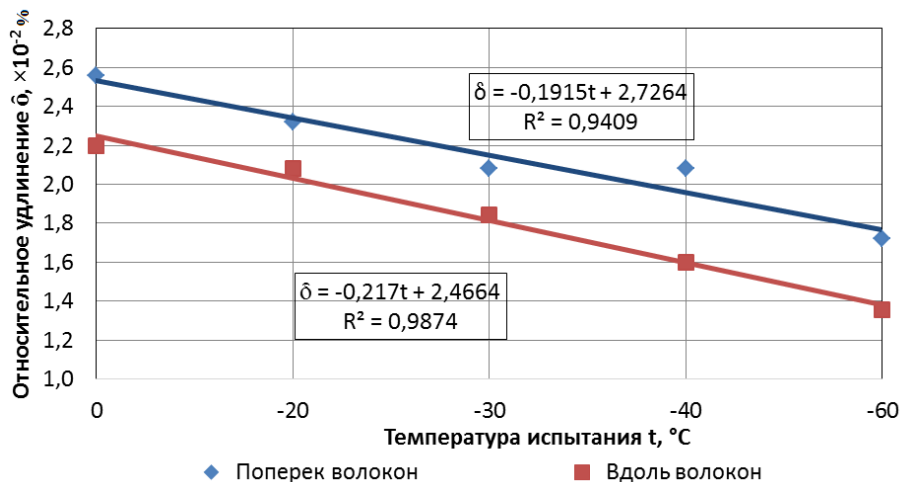


Рисунок 5. Зависимость относительного удлинения до разрыва от температуры

Было отмечено, что при температуре минус 60°C , когда армирующая ткань еще не рвется, полимерный слой начинает растрескиваться вокруг линии «будущего» разрыва.

На втором этапе образцы подвергались циклическим нагружениям. Для этого был собран экспериментальный стенд. Для проведения испытаний на двухосное нагружение были изготовлены плоские круглые образцы диаметром 106 мм. С обратной стороны образца перед проведением испытания расчерчивались лопатки с целью дальнейшего проведения одноосного растяжения. Образцы закреплялись на экспериментальный стенд двумя фланцами: плоским сверху, воротниковым с заглушкой снизу. Через штуцер при помощи плунжерного насоса по линии подводилось масло, которое создавало давление на образец. На этой же линии был установлен манометр. На рисунке 6, а представлена схема экспериментальной установки для циклических испытаний.

Испытания проводились следующим образом: образец циклично подвергался нагружению внутренним давлением. Характер нагружения представлял собой отнулевой цикл. Образец оставался под давлением в течение 5 мин, после чего давление сбрасывалось до 0. Выдержки по времени делались для релаксации возникающих напряжений в полимерной составляющей материала. Испытания с различным количеством нагружений проводились до 0,5 и 1 МПа. Количество циклов нагружения – 20, 40 и 60. После нагружения запланированным количеством циклов образец снимался с экспериментального стенда (на рисунке б, а, б показаны образцы после нагружения), производились замеры и вырубались образцы-лопатки. Образцы-лопатки подвергались одноосному растяжению до разрушения.

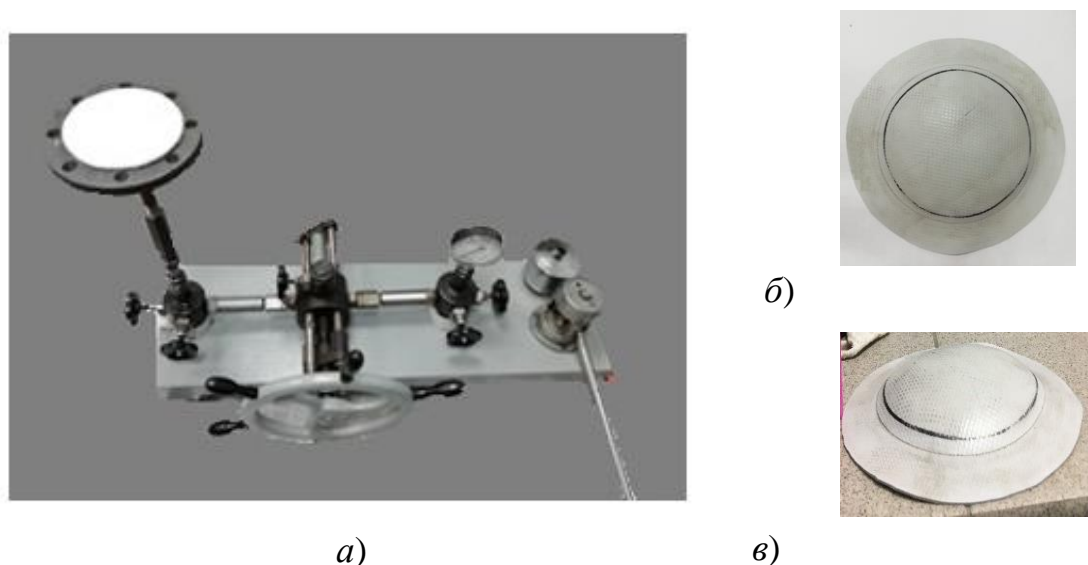


Рисунок 6. Фото экспериментального стенда для циклических испытаний (а) и образцов до (б) и после (в) испытания

На основе полученных результатов построена диаграмма зависимости нагрузки, выдерживаемой материалом до разрыва, от количества циклов нагружений при различных давлениях (рисунок 7).

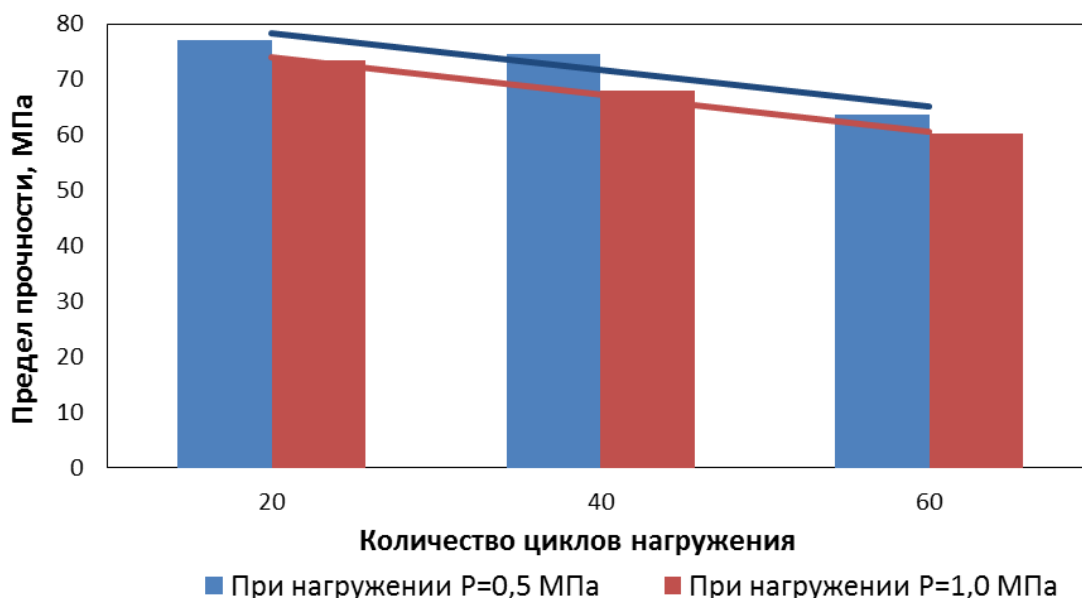


Рисунок 7. Влияние количества циклов на предел прочности образцов

С ростом количества нагружений (циклов) падает предел прочности. Отмечается зависимость предела прочности от величины давления при нагружении.

При замерах образцов также отмечено уменьшение толщины образцов материала на 3 %. Таким образом, из полученных данных видно, что при эксплуатации резервуаров материал становится тоньше и снижаются его прочностные характеристики.

В результате аппроксимации функции двух переменных получено уравнение, в котором отражена зависимость предела прочности от количества циклов и величины давления для композитного материала резервуара:

$$\sigma_B = -0,3 \cdot N - 1,5 \cdot P + 86,6, \quad (1)$$

где σ_B – предел прочности, МПа;

N – количество циклов;

P – давление в циклах нагружения, МПа.

По полученной зависимости можно определить количество циклов (N) и давление (P), при которых эксплуатация резервуара будет небезопасной,

т.к. материал сможет выдерживать нагрузку не больше критической (≤ 250 Н).

При проектировании опасных производственных объектов проводится анализ риска аварий, в ходе которого рассматривается возникновение различных аварийных ситуаций, в том числе пожар пролива. В результате эксплуатации эластичных (мягких) резервуаров возможны их разгерметизации с последующим пожаром разлившегося нефтепродукта. Пожар пролива характеризуется выделением большого количества тепла, способного вызывать не только воспламенение соседних объектов, но и поражение людей.

Безопасное расстояние для человека характеризуется значением интенсивности теплового излучения – $1,4$ кВт/м² [8].

Интенсивность теплового излучения (q_r) при пожаре пролива нефтепродуктов на расстоянии r от центра пожара вычисляется по формуле:

$$q(r) = E \cdot F_{\Sigma(r)} \cdot T_n(r), \quad (2)$$

где $q(r)$ – интенсивность теплового излучения на расстоянии r , кВт/м²;

E – среднеповерхностная интенсивность излучения пламени, кВт/м²;

$F_{\Sigma(r)}$ – угловой коэффициент облученности;

$T_n(r)$ – коэффициент пропускания атмосферы;

r – расстояние от геометрического центра пламени до мишени, м.

Значение E принимается на основе имеющихся справочных данных в зависимости от диаметра очага и удельной массовой скорости выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив [8].

Угловой коэффициент $F_{\Sigma(r)}$ определяется по следующей формуле, являющийся геометрической характеристикой теплообмена от излучения системы тел в непоглощающей среде, и определяется уравнением:

$$F_{\Sigma(r)} = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (3)$$

где F_V, F_N – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени.

Коэффициент пропускания атмосферы $T_n(r)$ определяется по формуле (3) [8]:

$$T_n(r) = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4}(r - 0,5d)], \quad (4)$$

где d – эффективный диаметр пролива нефтепродукта при аварии в резервуаре, м.

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (5)$$

где S – площадь пролива продукта, m^2 .

В работе [9] показано, что в формуле (3) 0,0007 – это коэффициент поглощения (k), который определяется экспериментально в зависимости от атмосферных условий. Коэффициент поглощения (k) равный 0,0007, характеризует очень чистую атмосферу с видимостью до 40–80 км. Резервуары на буровых площадках могут эксплуатироваться в холодное время года при отрицательных температурах, погодные условия не позволяют видимость отнести к очень чистой. Объекты строительства скважин ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» находятся в I_1, I_2, II_4 климатических районах [10], данные районы характеризуются как очень холодный, холодный и умеренно холодный.

Для оценки коэффициента пропускания атмосферы при отрицательных температурах окружающей среды воспользуемся формулами Симпсона I.C. (5) и Тарабанова М.Г.:

$$T_n(r) = 1,5092 - 0,0708 \cdot \ln \left[r \cdot P_{\text{нпв}}(T_a) \cdot \frac{RH}{100} \right], \quad (6)$$

где $P_{\text{нпв}}$ – давление насыщенного водяного пара, Па;

RH – относительная влажность воздуха, %;

T_a – температура окружающего воздуха.

$$P_{\text{НПВ}}(T_a) = \exp \frac{18,74 \cdot T_a - 115,72}{233,77 + 0,881 \cdot T_a} \quad (7)$$

В работе [9] показано, что при снижении температуры окружающей среды T_a увеличивается коэффициент пропускания атмосферы $T_n(r)$, следовательно, увеличивается и интенсивность теплового излучения $q(r)$.

Безопасные расстояния для человека при понижении температуры окружающей среды от 30 °С до минус 50 °С при реализации сценария аварии с пожаром пролива на полимерных резервуарах с нефтепродуктом представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки изменения безопасного расстояния для человека при понижении температуры окружающей среды от 30 °С до минус 50 °С при реализации сценария пожара пролива

Объем резервуара, м ³	Безопасное расстояние для человека от центра пожара при минус 50 °С, r_1 , м	Безопасное расстояние для человека от центра пожара при +30 °С, r_2 , м	Увеличение безопасного расстояния, $\Delta r = r_1 - r_2$, м	Относительное увеличение безопасного расстояния, $\delta = (\Delta r / r_1) \cdot 100$, %
99	99	70	29	29
112	112	81	31	27,6
119	119	86	33	27,7
136	136	98	38	27,9
170	170	122	48	28,2
178	178	126	52	29

По результатам оценки безопасных расстояний для человека при реализации сценария аварии с пожаром пролива нефтепродукта выявлено, что при снижении температуры окружающей среды от 30 °С до минус 50 °С безопасное расстояние от источника пожара увеличивается от 29 до 52 м в зависимости от объема разлившегося нефтепродукта.

Таким образом, относительное увеличение безопасного расстояния составляет 28,2 %. В связи с вышеизложенным, на этапе разработки проектной документации рекомендуется при оценке риска опасного производственного объекта, где используются эластичные (мягкие) резервуары, учитывать температуру окружающей среды.

Выводы

Изучены механические свойства материала, в том числе при отрицательных температурах. Описан график деформирования при растяжении материала резервуара: определены области упругого и пластического деформирования материала.

На основании полученных результатов растяжения при отрицательных температурах определено, что материал теряет свои эластичные свойства: уменьшается относительное удлинение и время, необходимое для разрыва.

Определено, что с ростом количества циклов падает предел прочности материала, который также зависит от величины давления при нагружении. Получена зависимость предела прочности материала от количества циклов и давлений.

На основании проведенных сравнительных расчетов по определению безопасных расстояний ($q(r) = 1,4 \text{ кВт/м}^2$) при положительных и отрицательных температурах для сценария аварии с пожаром пролива резервуара определено, что безопасные расстояния отличаются на 28,2 %. В связи с этим, при расчетах по определению безопасных расстояний для человека рекомендуется учитывать температуру окружающей среды.

На этапе разработки проектной документации, деклараций промышленной безопасности и Планов мероприятий по локализации и ликвидации аварий при количественной оценке риска рекомендуется учитывать температуру окружающей среды для прогнозирования реальной дальности действия поражающих факторов в результате пожара пролива.

Список используемых источников

1. Пат. 2304553 РФ, МПК В 65 D 88/16. Мобильный эластичный резервуар для нефтепродуктов / Ю.Н. Рыбаков, О.Д. Харламова, М.Д. Абрамов, И.Г. Барышев, И.И. Паталах. 2006111348/11, Заявлено 07.04.2006; Опубл. 20.08.2007. Бюл. 23.

2. Пат. 2424967 РФ, МПК В 65 D 88/16. Мягкий полимерный резервуар для воды и нефтепродуктов / С.С. Овсянников, Е.М. Овсянникова. 2010135644/12, Заявлено 27.08.2010; Оpubл. 27.07.2011. Бюл. 21.

3. Пат. 172577 РФ, МПК В 65 D 88/00. Мобильный эластичный резервуар для совместного хранения и транспортировки нефтепродуктов, воды и других жидкостей для передвижных и автономных электростанций / Ю.М. Антонов. 2016151811; Заявлено 28.12.2016; Оpubл. 12.07.2017. Бюл. 20.

4. Полезная модель 114043 РФ, МПК В 65 D 88/22. Универсальный бескаркасный мобильный резервуар со сменным вкладышем для временного хранения нефти и нефтепродуктов / Ю.В. Лисин, А.Н. Ченцов, Е.Е. Семин, Р.М. Гариев, М.М. Старостин, А.П. Жуков. 2011143960/12; Заявлено 01.11.2011; Оpubл. 10.03.2012. Бюл. 7.

5. Сонин М.С. Подводный резервуар для хранения жидких углеводородов на месторождениях Арктического шельфа: дис. ... канд. техн. наук. М.: 2016. 100 с.

6. Treloar L.R.G. Stress-Strain Data for Vulcanized Rubber Under Various of Deformation // Transactions of the Faraday Society. 1944. Vol. 40. P. 817-825. DOI:10.1039/tf9444000059.

7. ГОСТ 270-75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении. М.: Стандартинформ, 2008. 11 с.

8. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2014. 66 с.

9. Захарова М.И. Анализ и оценка риска аварий резервуаров и газопроводов при низких температурах: дис. ... канд. техн. наук. Якутск: 2015. 140 с.

10. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Стандартинформ, 1981. 150 с.

References

1. Rybakov Yu.N., Kharlamova O.D., Abramov M.D., Baryshev I.G., Patalakh I.I. *Mobil'nyi elastichnyi rezervuar dlya nefteproduktov* [Mobile Elastic Tank for Petroleum Products]. Patent RF, No. 2304553, 2007. [in Russian].
2. Ovsyannikov S.S., Ovsyannikova E.M. *Myagkii polimernyi rezervuar dlya vody i nefteproduktov* [Soft Polymer Tank for Water and Petroleum Products]. Patent RF, No. 2424967, 2011. [in Russian].
3. Antonov Yu.M. *Mobil'nyi elastichnyi rezervuar dlya sovmestnogo khraneniya i transportirovki nefteproduktov, vody i drugikh zhidkosti dlya peredvizhnykh i avtonomnykh elektrostantsii* [Mobile Elastic Tank for Joint Storage and Transportation of Petroleum Products, Water and other Liquids for Mobile and Autonomous Power Plants]. Patent RF, No. 172577, 2017. [in Russian].
4. Lisin Yu.V., Chentsov A.N., Semin E.E., Gariev R.M., Starostin M.M., Zhukov A.P. *Universal'nyi beskarkasnyi mobil'nyi rezervuar so smennym vkladyshe dlya vremennogo khraneniya nefi i nefteproduktov* [Universal Frameless Mobile Tank with Removable Liner for Temporary Storage of Oil and Oil Products]. Utility Model RF, No. 114043, 2012. [in Russian].
5. Sonin M.S. *Podvodnyi rezervuar dlya khraneniya zhidkikh uglevodorodov na mestorozhdeniyakh Arkticheskogo shel'fa: dis. kand. tekhn. nauk* [Underwater Reservoir for Storage of Liquid Hydrocarbons in The Arctic Shelf Fields: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, 2016. 100 p. [in Russian].
6. Treloar L.R.G. Stress-Strain Data for Vulcanized Rubber Under Various of Deformation. *Transactions of the Faraday Society*, 1944, Vol. 40, pp. 817-825. DOI:10.1039/tf9444000059.
7. *GOST 270-75. Rezina. Metod opredeleniya uprugoprochnostnykh svoistv pri rastyazhenii* [State Standard 270-75. Rubber. Method of the Determination Elastic and Tensile Stress-Strain Properties]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 11 p. [in Russian].

8. *GOST R 12.3.047-2012. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya* [State Standard R 12.3.047-2012. Occupational Safety Standards System. Fire safety of Technological Processes. General Requirements. Methods of Control]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 66 p. [in Russian].

9. Zakharova M.I. *Analiz i otsenka riska avarii rezervuarov i gazoprovodov pri nizkikh temperaturakh: dis. kand. tekhn. nauk* [Analysis and Assessment of the Risk of Accidents of Reservoirs and Gas Pipelines at Low Temperatures: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Yakutsk, 2015. 140 p. [in Russian].

10. *GOST 16350-80. Klimat SSSR. Raionirovanie i statisticheskie parametry klimaticheskikh faktorov dlya tekhnicheskikh tselei* [State Standard 16350-80. Climate of the USSR. Regionalizing and Statistical Parameters of Climatic Factors for Technical Purposes]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 150 p. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Шириева Надежда Сергеевна, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация; специалист 1 категории Отдела проектирования строительства и реконструкции скважин Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, г. Тюмень, Российская Федерация

Nadezhda S. Shirieva, Post-graduate Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation; Engineer of the 1st category, KogalymNIPIneft, Branch, LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, Tyumen, Russian Federation

e-mail: belyaevans90@gmail.com

Тляшева Резеда Рафисовна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, Уфа, Российская Федерация

Rezeda R. Tlyasheva, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation
e-mail: mfugntu@mail.ru

Наумкин Евгений Анатольевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, Уфа, Российская Федерация

Evgeniy A. Naumkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation
e-mail: ynaumkin@mail.ru

Прохоров Александр Анатольевич, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aleksandr A. Prokhorov, Undergraduate Student of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation