

УДК 622.692.23.071

**РАЗРАБОТКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ
СТАЦИОНАРНОЙ КРЫШИ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ
НЕФТИ**

**DEVELOPMENT OF EXPLOSION-PROOF FIXED ROOF STRUCTURE
FOR VERTICAL OIL TANKS**

В.И. Закирова, А.В. Краснов, Ф.Ш. Хафизов, А.А. Шарафутдинов

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Veronika I. Zakirova, Anton V. Krasnov,
Fanil Sh. Khafizov, Azat A. Sharafutdinov**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation
e-mail: 00770088@mail.ru**

Аннотация. Резервуарный парк является связующим звеном в системе трубопроводного транспорта нефти, и именно благодаря надежной и безотказной работе резервуарных парков обеспечивается своевременная и бесперебойная поставка нефти потребителям.

Одним из главных сооружений складов нефтепродуктов являются резервуарные парки. С каждым годом объем добычи становится больше, вследствие этого увеличиваются объемы хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, что, в свою очередь, приводит к тому, что на относительно не очень больших площадях хранится большое количество взрывоопасных и пожароопасных жидкостей, исчисляемых до сотни тысяч тонн.

Кроме того, что существует проблема уменьшения пожарной опасности резервуарных парков, также существует актуальная проблема

защиты горящего резервуара.

Согласно данным печатных изданий, ежегодно в мире происходят десятки взрывов резервуаров вертикальных стальных (РВС), связанные с возгоранием резервуара. От потенциальных пожаров невозможно полностью застраховаться существующими средствами защиты, но можно значительно сократить потери в случае инцидента.

Частой причиной пожара в резервуарах является взрыв паровоздушной смеси. Существенное влияние на образование взрывоопасных концентраций внутри резервуаров оказывают физико-химические свойства хранимых нефти и нефтепродуктов, технологические режимы эксплуатации, конструкция резервуара, а также климатические условия. Взрыв в резервуаре приводит к подрыву (реже срыву) крыши с последующим горением на всей поверхности горючей жидкости.

На основе проведенной работы предполагается, что в сочетании с существующими системами СППТ предлагаемый метод усовершенствования взрывобезопасной крыши РВС позволит существенно повысить безопасность эксплуатации резервуарного парка в целом. В случае аварии новая крыша РВС-20000 позволит безопасно высвободить энергию взрыва, а затем легко погасить пламя. Данное усовершенствование рекомендовано к рассмотрению проектным организациям.

Abstract. The tank farm is a connecting link in the oil pipeline transportation system, and it is due to the reliable and safe operation of the tank farms that the timely and uninterrupted supply of oil to consumers is ensured.

One of the main structures of oil product storage facilities are tank farms. Each year, the volume of production becomes larger, as a result of which the storage of oil and oil products in tank farms increases, which, in turn, leads to the fact that a relatively large area contains a large number of explosive and flammable liquids, up to hundreds of thousands of tons.

In addition to the fact that there is a problem of reducing the fire hazard of tank farms, there is also an urgent problem of protecting a burning tank.

According to the articles in periodic, dozens of explosions of vertical steel tanks (VST) occur in the world every year, associated with the ignition of the tank. It is not possible to fully insure against potential fires with existing protective equipment, but losses in case of an incident can be significantly reduced.

A common cause of fire in tanks is the explosion of a steam-air mixture. The significant influence on the formation of explosive concentrations inside the tanks is exerted by the physicochemical properties of the stored oil and oil products, technological operating conditions, the design of the tank, as well as climatic conditions. An explosion in the tank leads to the undermining (less often the breakdown) of the roof, followed by burning on the entire surface of the combustible liquid.

Based on the work carried out, it is assumed that, in combination with existing SPPT systems, the proposed method for improving the explosion-proof roof of the VST will significantly improve the safety of the operation of the tank farm as a whole. In the event of an accident, the new roof of the VST-20000 will safely release the energy of the explosion, and then easily extinguish the flame. This improvement is recommended for consideration by project organizations.

Ключевые слова: резервуарный парк; пожар; взрыв топливно-воздушной смеси; внешние факторы; взрывопожароопасная ситуация; площадь безопасного окна; ТехноПласт/FibaRoll

Key words: tank farm; fire; fuel-air mixture explosion; external factors; fire and explosion hazardous situation; safe window area; Tekhnoplast/FibaRoll

Резервуарный парк является связующим звеном в системе трубопроводного транспорта нефти, и именно благодаря надежной и

безотказной работе резервуарных парков обеспечивается своевременная и бесперебойная поставка нефти потребителям.

Одним из главных сооружений складов нефтепродуктов являются резервуарные парки. С каждым годом объем добычи становится больше, вследствие этого увеличиваются объемы хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках.

Пожары в резервуарах возникают из-за наличия источника зажигания, конструктивных особенностей резервуара, свойств горючей жидкости, наличия взрывоопасных концентраций внутри и снаружи резервуара [1].

Частой причиной пожара в резервуарах является взрыв паровоздушной смеси [2]. Существенное влияние на образование взрывоопасных концентраций внутри резервуаров оказывают физико-химические свойства хранимых нефти и нефтепродуктов, технологические режимы эксплуатации, конструкция резервуара, а также климатические условия. Взрыв в резервуаре приводит к подрыву (реже срыву) крыши с последующим горением на всей поверхности горючей жидкости. При этом даже на начальной стадии горение нефти и нефтепродуктов в резервуаре может сопровождаться мощным тепловым излучением в окружающую среду, а высота светящейся части пламени составлять 1–2 диаметра горящего резервуара. Отклонение факела пламени от вертикальной оси при скорости ветра около 4 м/с составляет 60–70° [3].

Научно-исследовательская лаборатория на основании анализа ряда таких взрывов и пожаров установила наиболее вероятное направление полета резервуара (в сторону обвязки приемо-раздаточными устройствами) и тот факт, что полеты резервуаров происходят в тех случаях, когда уровень жидкости в них не превышает половины высоты резервуара [4].

На основании приведенных данных был сделан вывод о необходимости учета характера взрыва и полета резервуара при оценке обстановки и организации тушения пожара в резервуарном парке. Но такое направление защиты бесперспективно. Ни увеличить расстояние между резервуарами,

ни выбрать безопасное место для приземления резервуара после полета невозможно, поэтому конструкция резервуара должна предотвращать его полет.

Был произведён расчёт требуемой безопасной площади разгерметизации для РВС(П)-20000 для нефти при температуре 50 °С. Для этого использована методика расчёта, представленная в ГОСТ Р 12.3.047-98 [1].

Данный метод необходим для определения безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращаются горючие газы, жидкости, пыли, которые могут создать с воздухом взрывоопасные смеси, сгорающие ламинарно или турбулентно во фронтальном режиме [5].

Данный метод определяет зависимость безопасной площади разгерметизации от объема оборудования или помещения и максимально допустимого давления внутри него, давления и температуры технологической среды, термодинамических и термокинетических параметров горючей смеси, условий истечения, степени турбулентности.

Безопасную площадь разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями определяют по следующим безразмерным критериальным соотношениям:

$$W \geq \frac{\chi(E_i - 1)}{\sqrt{E_i (\pi_m - 1)}}, \quad (1)$$

для сосудов, рассчитанных на максимальное относительное давление взрыва $1 < \pi \leq 2$ – (при одновременном выполнении условия $p_m \geq 2p'$ в знаменателе формулы (1) сомножитель $(\pi_m - 1)$ отсутствует, и

$$W \geq 0,9 \frac{\chi(\pi_e - 1)}{\sqrt{E_i (\pi_m - 1)}}, \quad (2)$$

для сосудов, которые должны выдержать давление взрыва в диапазоне относительных значений $2 < \pi_m \leq \pi_e$.

В формулах (1) и (2) приняты следующие обозначения (индексы i, u, e, m относятся соответственно к начальным параметрам, параметрам горючей смеси, характеристикам горения в замкнутом сосуде, максимальным допустимым значениям):

$$\pi_m = \frac{P_m}{P_i}, \quad (3)$$

где π_m – относительное максимально допустимое давление в сосуде, которое не приводит к его деформации и (или) разрушению;

P_m – абсолютное максимально допустимое давление внутри сосуда, которое не приводит к его деформации и (или) разрушению, Па;

P_i – абсолютное начальное давление горючей смеси в аппарате, при котором происходит инициирование горения, Па.

По данным технических условий на резервуары, $p_m = 0,1034$ МПа, p_i равняется давлению одной атмосферы, $p_i = 0,101$ МПа.

$$\pi_m = \frac{0,1034}{0,1010};$$

$\pi_e = \frac{P_e}{P_i}$ – относительное максимальное давление взрыва данной горючей смеси в замкнутом сосуде;

p_e – абсолютное максимальное давление взрыва данной горючей смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси p_i , Па;

E – коэффициент расширения продуктов сгорания смеси;

χ – фактор турбулентности, представляющий собой в соответствии с принципом Гуи-Михельсона отношение действительной поверхности фронта пламени в аппарате к поверхности сферы, в которую можно собрать продукты сгорания, находящиеся в данный момент времени внутри сосуда.

Комплекс подобия W представляет собой с точностью до постоянного множителя произведение двух отношений – эффективной площади

разгерметизации к внутренней поверхности сферического сосуда равного объема и скорости звука в исходной смеси к начальной нормальной скорости пламени:

$$W = \frac{1}{(36\pi_0)^{0,333}} \cdot \frac{\mu F}{V^{0,667}} \left(\frac{RT_{u_i}}{M_i} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{S_{u_i}}, \quad (4)$$

где π_0 – число «пи»;

μ – коэффициент расхода при истечении свежей смеси и (или) продуктов сгорания через устройство взрыворазрежения (предохранительная мембрана, клапан, разгерметизатор и т.п.);

F – площадь разгерметизации (сбросного сечения), м²;

V – максимальный внутренний объем сосуда, в котором возможно образование горючей газопаровой смеси, м³;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8314 Дж/(кмоль К);

T_{u_i} – температура горючей смеси, К;

M_i – молекулярная масса горючей смеси, кг/кмоль;

S_{u_i} – нормальная скорость распространения пламени при начальных значениях давления и температуры горючей смеси, м/с.

Расчёт площадей безопасного окна разгерметизации для РВС-20000:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H; \quad (5)$$

$$W = \frac{1}{(36\pi_0)^{0,333}} \cdot \frac{\mu F}{V^{0,667}} \left(\frac{RT_{u_i}}{M_i} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{S_{u_i}}, \quad (6)$$

Если значения по нормальной скорости при характерных для технологического процесса давления p и температуре T отсутствуют, то в ограниченном диапазоне экстраполяции можно воспользоваться для оценки формулой:

$$S_u = S_{u_0} \left(\frac{p}{p_0} \right)^n \left(\frac{T}{T_0} \right)^m, \quad (7)$$

где S_{u0} – известное значение нормальной скорости при давлении P_0 и температуре T_0 ;

n и m – соответственно барический и температурный показатели. При значениях давления и температуры, близких к атмосферным, барический и температурный показатели для горючих паровоздушных смесей могут быть приняты в первом приближении соответственно равными $n = -0,5$ и $m = 2,0$.

$$S_u = 0,3 \cdot \left(\frac{0,1}{0,1} \right)^{-0,5} \left(\frac{323}{298} \right)^2 = 0,3525 \text{ м/с}.$$

Предполагается, что продукты сгорания состоят из следующих 19 компонентов в газовой фазе: H_2 , H_2O , CO_2 , N_2 , C , H , O , N , CO , CH_4 , HCN , O_2 , O_3 , OH , NO , NO_2 , NH_3 , HNO_2 .

Стехиометрическая концентрация горючего в воздухе средней влажности определялась по известной формуле:

$$\varphi_u = \frac{100}{4,8445\beta + 1}, \quad (8)$$

где β – стехиометрический коэффициент, равный количеству молекул кислорода, необходимых для сгорания одной молекулы горючего.



Следовательно, критериальное соотношение (1) относительно F можно записать в виде

$$F \geq \frac{\chi(E_i - 1)}{0,596\mu\sqrt{E_i}(\pi_m - 1)}, \quad (9)$$

$$F \geq \frac{8(7 - 1)}{0,2186 * 0,61 * \sqrt{7}(1,02376 - 1)} \geq 882,566 \text{ м}^2$$

Для сосудов со встроенными и подвижными элементами, влияние которых на значение фактора турбулентности не может быть в настоящее время оценено, например, с использованием литературных данных или

экспертным методом, выбор фактора турбулентности должен ограничиваться снизу значением $\chi = 8$. По «Руководству по оценке пожарного риска для промышленных предприятий», принимаем $E_i = 7$. Для предохранительных мембран и разгерметизирующих устройств с непосредственным сбросом продуктов сгорания в атмосферу принимается $\mu = 0,61$.

Требуемая безопасная площадь разгерметизации для РВС-20000 для нефти при температуре 50 °С равна $F = 882,566 \text{ м}^2$, что соответствует диаметру равному $d = 33,53 \text{ м}$. Это значение составляет 54,07 % от площади всей крыши резервуара.

Результаты приведённых выше расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Площади безопасных окон разгерметизации для РВС-5000; 10000; 20000; 50000; 100000

Тип РВС	Площадь крыши РВС, м ²	Площадь безопасного окна разгерметизации, м ²	Диаметр безопасного окна разгерметизации, м	Процент площади окна от общей площади крыши, %
РВС-5000	343,55	324,50	20,33	94,46
РВС-10000	637,62	551,13	28,50	86,44
РВС-20000	1249,73	863,69	33,17	69,11
РВС-30000	1660,38	1005,49	35,87	64,95
РВС-40000	2481,67	1354,67	41,36	58,72
РВС-50000	2892,32	1518,09	43,98	52,49

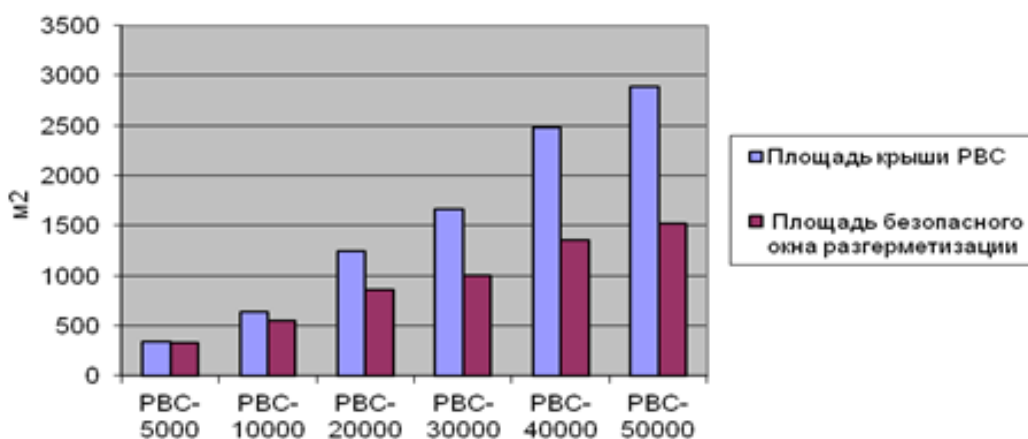


Рисунок 1. Отношения площадей крыш и безопасных окон PVC

Исходя из анализа данных, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что с увеличением площади крыши PVC площадь безопасного окна разгерметизации стремится оставаться постоянной.

В результате проведенных исследований стационарных крыш резервуаров предлагается конструкция новой взрывобезопасной крыши PVC.

Усовершенствование стационарных крыш PVC заключается в замене крепления и конструкции покрытия крыш резервуаров с обеспечением безопасной площади разгерметизации. Таким образом, при взрыве исключается разбрасывание металлоконструкций по резервуарному парку и близлежащей территории, а также значительно сокращается ущерб, нанесённый взрывом аварийному резервуару.

Новая крыша PVC предполагает двойное сварное соединение настила: в месте стыка крыши и стенки, а также после отступа, на котором следует разместить оборудование резервуара. Суммарная площадь этого отступа, центральной части PVC, а также рёбер жёсткостей составляет 45 % от площади крыши резервуара, что необходимо для обеспечения безопасного окна взрыва диаметром 34 м.

Между собой секции следует соединять специальным крепёжным рулонным покрытием. Поскольку прочностные характеристики этого крепёжного покрытия при нагреве несколько ниже, чем металла сварного

шва, в период воздействия взрывной нагрузки отрыв настила крыши произойдёт именно в местах его применения, то есть в продольных швах.

Рёбра жёсткости и центральная часть крыши останутся на своих местах, а настил крыши «раскроется», обеспечив безопасное окно взрыва.

Для изготовления крепёжного покрытия существует несколько вариантов веществ, и в идеальной ситуации такой материал должен испаряться при температуре взрыва. Но на данный момент предлагается использование продукции английской компании ТехноПластИнжиниринг.

ТехноПласт/FibaRoll – это многослойный рулонный материал, который состоит из армированных специальных смол.

Принципиальным назначением композиционных материалов ТехноПласт/FibaRoll является одновременное выполнение ряда задач: усиление конструкции, восстановление поврежденной поверхности, химическая стойкость к широчайшему перечню агрессивных сред, антикоррозионная защита, противопожарная защита (материалы категории «Не горючие»), гидроизоляция.

Фотополимеры ТехноПласт-рулон/FibaRoll представляют собой рулонное покрытие, полуфабрикат. При взаимодействии с УФ лучами (солнечный свет или металлогалогенная лампа) в течение от 30 до 90 мин материал полностью твердеет, приобретая при этом жесткую мощную форму, по своим прочностным свойствам аналогичную конструкционному алюминию.

ТехноПласт-паста/FibaGel – те же смолы, входящие в состав рулонного материала, однако представленные отдельно в гелеобразном виде. Предназначены для защиты торцевых краев рулонного материала и заполнения каверн ремонтируемой поверхности.

За счет своей первоначальной эластичности и мягкой структуры, поддающейся формованию, материалы можно раскроить практически в любую фигуру, тем самым обеспечив полноценную защиту любому оборудованию, вне зависимости от сложности его формы.

Таким образом, после окончания процесса полимеризации фактически создается новая поверхность поверх разрушенной, гарантирующая высокие антикоррозионные и химически стойкие показатели, механическую защиту и существенно продлевающая срок службы оборудования. В умеренно агрессивных газообразных средах рулонное покрытие теряет лишь 1 % своего слоя за 15 лет службы.

Для нанесения материалов на поверхность не требуются дорогостоящее оборудование и навыки специалистов – все операции выполняются вручную, затрачивая минимальное количество времени.

Выдающаяся химическая стойкость позволяет эксплуатировать материалы в более 700 химически агрессивных средах при различных температурах. При этом одно и то же покрытие способно одновременно взаимодействовать как с органическими веществами, так и с неорганикой, как с кислотами, так и щелочными средами, что является абсолютно уникальным показателем, не имеющим аналогов в мире.

Материалы подтвердили свои свойства в таких организациях, как ООО «НИИ Транспорта нефти и нефтепродуктов», ГУП «Институт проблем транспорта энергоресурсов», ОАО «Гипрониигаз», ООО «Институт ВНИИСТ», CEng F.I.M. Департамент Материалов Университета Лондона, BUREAU VERITAS – Международный регистр классификации судов: Морское отделение 109NCT2000, Британским Регистром Lloyd.

В большинстве случаев крыша представляет собой ровную поверхность, что существенно упрощает процесс нанесения материалов. Поскольку нет необходимости в особых схемах раскроя, рулонное покрытие просто раскатывается прямыми участками по длине крыши и наклеивается по принципу нанесения обоев.

Также огромным плюсом является доступ солнечного света. Работы можно выполнять под навесом или в ночное время суток. С первыми лучами солнца начнется процесс отверждения защитного покрытия по всей

площади крыши. Уже спустя несколько десятков минут оборудование можно вводить в эксплуатацию.

Покрытие является легким и не требует дополнительного усиления конструкции. При этом его прочностные свойства и адгезия с основной поверхностью столь велики, что зачастую нет необходимости в проведении дополнительных сварочных работ по ремонту сквозных отверстий.

Структура покрытия представляет собой череду слоев специализированных смол и стекловолокон. Данные стекловолокна С-типа и Е-типа имеют абсолютно хаотичную направленность, за счет чего покрытие способно расширяться и сужаться одновременно с поверхностью, на которую оно уложено.

Помимо усиливающих и восстанавливающих функций немаловажным является обеспечение антикоррозионной защиты и стойкости материалов к ультрафиолету. Многие альтернативные защитные покрытия довольно быстро теряют свои свойства из-за постоянного воздействия на них УФ лучей, влажности, погодных осадков, температурных перепадов и т.д. Материалы ТехноПласт неоднократно подтвердили свою стойкость ко всем перечисленным факторам.

За счет своих огнестойких свойств покрытия применяются на емкостном оборудовании, предназначенном для хранения горючих материалов. При сверхвысоких температурах и своем термическом разложении ТехноПласт-рулон не выделяет токсичный удушающий дым, при этом возгорание происходит локально, лишь в точке воздействия открытого пламени и дальше по поверхности не распространяется.

Также «больным» местом резервуаров, в том числе нефтехранилищ, являются внутренняя поверхность днища и первого-второго поясов. Эти элементы в высшей степени подвергаются коррозионным разрушениям по причине постоянного контакта с агрессивной средой и максимальными нагрузками, оказываемыми на них.

В зависимости от диаметра емкости, нижняя его образующая может располагаться на высоте от 110 до 450 мм от днища. Объем нефтяного резервуара ниже нижней образующей фактически превращается в застойную зону, где скапливаются выпадающие в осадок механические примеси, вода и растворенные в ней органические и минеральные кислоты, хлориды, сульфаты и сульфиды щелочных щелочноземельных металлов (Na, K, Mg, Ca, Al).

Альтернативой традиционному сварочному ремонту выступает ТехноПласт/FibaRoll. Нанося его на всю поверхность днища резервуара и первый пояс емкости, создается полимерная поверхность внутри ремонтируемой емкости. Тем самым: а) восстанавливается герметичность днища без применения сварки, заплаток и прочих ненужных элементов; б) усиливается днище резервуара в местах максимальных нагрузок; в) предотвращается дальнейшая коррозия и разрушение емкости за счет высоких антикоррозионных и химически стойких свойств, тем самым существенно продлевая безремонтный срок эксплуатации оборудования.

Для исследования поведения новой конструкции крыши во время взрыва был поставлен эксперимент, для которого была изготовлена в условиях Черкасского НУ масштабная модель РВС(П)-20000 (рисунок 2) с соблюдением геометрического подобия, основанного на трудах академика Седова [6].

В реальных условиях энергия взрыва образуется посредством воспламенения паровоздушной смеси. В случае данного эксперимента с учётом разницы в количестве взрываемого вещества и габаритов модели коэффициент подобия составляет 1300.

По порождаемому давлению взрыва, согласно правилам безопасности, был выбран порох. Применение этого взрывчатого вещества позволило адекватно смоделировать взрыв РВС-20000 с установленной новой взрывобезопасной крышей [7].

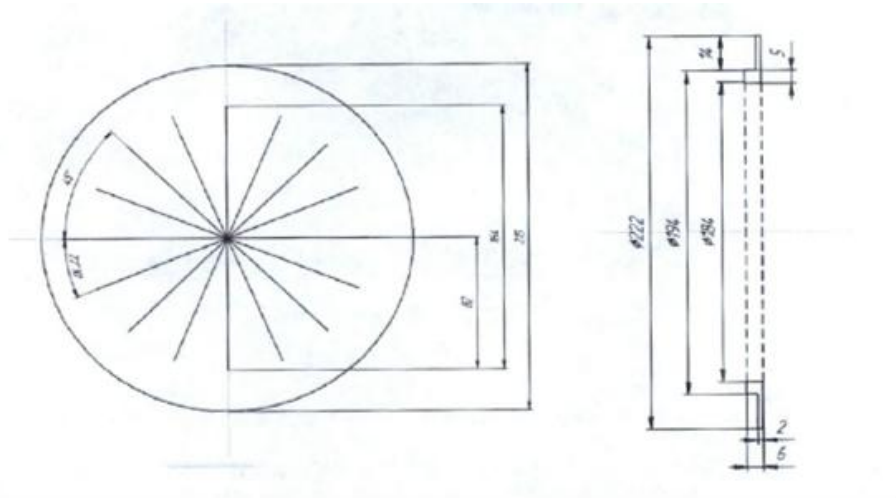


Рисунок 2. Создание модели РВС-20000

Во время эксперимента крыша модели раскрылась приблизительно на 40 %. С учётом погрешности, эксперимент подтверждает достоверность проведённых расчётов безопасной площади разгерметизации. Резервуар не разорвался, а высвободил энергию взрыва по запланированному сценарию. После первого взрыва модель полностью сохранила целостность, что позволило его восстановить крепёжным покрытием и повторить взрыв во второй раз. Результат оказался тем же, второй взрыв также развивался по запланированному сценарию, что снова позволило сохранить целостность конструкции [8].

Экономические расчёты в случае с аварийными ситуациями всегда сталкиваются со статистической неопределённостью. Можно лишь предположить вероятность гипотетической аварии, а также пути её развития.

Экономический эффект реконструкции крыши резервуара достигается при первом же аварийном случае: взрывобезопасная крыша позволяет сократить расходы на восстановление повреждённого резервуара, это около 108 763 859,86 руб. согласно составленному расчету, плюс исключить затраты на восстановление соседних объектов [9].

Предполагается применение новой конструкции крыши при возведении новых резервуаров, а также на РВС, выводящихся в реконструкцию и ремонт по плану. Согласно экспертной оценке, полученной в ОАО «Гипротрубопровод», стоимость реконструкции РВСП-20000 с применением новой конструкции крыши в соответствии с нормативами и условиями нашего региона составит около 14 567 869, 45 руб. Это:

- сооружение лесов;
- замена секций;
- зачистка ремонтируемой поверхности до Sa/St 2,5;
- обезжиривание;
- сооружение временного навеса над крышей;
- нанесение шпателями ТехноПласт-пасты;
- нанесение предварительно раскроенных элементов ТехноПласт-рулона;
- демонтаж навеса;
- демонтаж лесов.

Нетрудно подсчитать, что прямая экономия в случае взрыва составит 94 195 990,4 руб.

Вывод

В ходе проведенных исследований были решены задачи:

- 1) анализ причин пожаров и взрывов на резервуарах, разработок в области взрывозащиты РВС.
- 2) разработка усовершенствованной конструкции взрывобезопасной крыши;

- 3) экспериментальное опробование усовершенствованной конструкции крыши;
- 4) определение экономического эффекта от внедрения усовершенствованной крыши;
- 5) разработка технологии монтажа усовершенствованной крыши резервуара.

На основе проведенной работы предполагается, что в сочетании с существующими системами СППТ предлагаемый метод усовершенствования взрывобезопасной крыши РВС позволит существенно повысить безопасность эксплуатации резервуарного парка в целом. В случае аварии новая крыша РВС-20000 позволит безопасно высвободить энергию взрыва, а затем легко погасить пламя. Данное усовершенствование рекомендовано к рассмотрению проектным организациям.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2000. 89 с.
2. Приказ РТН № 159. Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». URL: <http://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150720-110609.pdf> (дата обращения: 01.04.2019).
3. Попова Е.В., Абуталипова Е.М., Сунгатуллин И.Р., Хафизов И.Ф. Классификация взрывопожароопасных объектов газового промысла // Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: матер. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участ. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 382-384.
4. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами: тематический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992. Вып. 3-4. 186 с.

5. Краснов А.В., Рахматуллина Э.Ф. Разработка зависимости по определению площади пролива горючих жидкостей // Роль математики в становлении специалиста: матер. Всеросс. науч.-метод. конф. Уфа: УГНТУ, 2016. С. 46-48.

6. СТО-СА-03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. М.: 2007. 190 с.

7. Габбасова А.И., Передерей О.И., Шарафутдинов А.А. Решение пожарно-тактических задач с использованием компьютерных тренажерных систем // Матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых Актуальные проблемы науки и техники. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 209-210.

8. Хафизов И.Ф., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И., Шарафутдинов А.А. Модель обучаемого в имитационных тренажерных комплексах для обучения оперативного персонала объектов нефтегазового сектора // Современные технологии в нефтегазовом деле: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Уфа: УГНТУ, 2016. С. 369-374.

9. Устюжанина А.Ю., Галкина А.А., Фукалов Д.С., Шарафутдинов А.А., Хайретдинов И.А., Хафизов И.Ф. Разработка и создание веб-приложения по моделированию чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 210-218.

References

1. *GOST R 12.3.047-98. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya* [State Standard R 12.3.047-98. Occupational Safety Standards System. Fire Safety of Technological Processes. General Requirements. Methods of Control]. Moscow, Standartinform Publ., 2000. 89 p. [in Russian].

2. *Prikaz RTN № 159. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodika otsenki posledstviy avariinykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesei»* [RTN Order No. 159. About the Approval Of the Manual on Safety «The Technique of an Assessment of Consequences of Emergency Explosions of Fuel and Air Mixes»]. URL: <http://tk-servis.ru/uploads/files/ntd-20150720-110609.pdf> (accessed 01.04.2019). [in Russian].

3. Popova E.V., Abutalipova E.M., Sungatullin I.R., Khafizov I.F. *Klassifikatsiya vzryvopozharoopasnykh ob"ektov gazovogo promysla* [Classification of Explosion and Fire Hazardous Objects of Gas Field]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v tekhnicheskikh naukakh v usloviyakh perekhoda predpriyatii na importozameshchenie»* [Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation «Fundamental and Applied Research in Technical Sciences in the Transition of Enterprises to Import Substitution»]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 382-384. [in Russian].

4. *Pozhary rezervuarov s neft'yu i nefteproduktami: tematicheskii obzor* [Fires of Tanks with Oil and Oil Products: a Thematic Review]. Moscow, TsNIITeneftkhim Publ., 1992, Issue 3-4. 186 p. [in Russian].

5. Krasnov A.V., Rakhmatullina E.F. *Razrabotka zavisimosti po opredeleniyu ploshchadi proliva goryuchikh zhidkosti* [Development of the Dependence on the Determination of the Area of the Strait of Flammable Liquids]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Rol' matematiki v stanovlenii spetsialista»* [Materials of the all-Russian Scientific-Methodical Conference «The Role of Mathematics in the Formation of a Specialist»]. Ufa, UGNTU Publ., 2016, pp. 46-48. [in Russian].

6. *STO-SA-03-002-2009. Pravila projektirovaniya, izgotovleniya i montazha vertikal'nykh tsilindricheskikh stal'nykh rezervuarov dlya nefti i nefteproduktov* [STO-SA-03-002-2009. Rules of Design, Manufacture and Installation of Vertical Cylindrical Steel Tanks for Oil and Petroleum Products]. Moscow, 2007. 190 p. [in Russian].

7. Gabbasova A.I., Perederei O.I., Sharafutdinov A.A. Reshenie pozharno-takticheskikh zadach s ispol'zovaniem komp'yuternykh trenazhernykh sistem [Solution of Fire-Tactical Tasks with the use of Computer Training Systems]. *Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy nauki i tekhniki»* [Materials of VIII International Scientific-Practical Conference of Young Scientists «Actual Problems of Science and Technology»]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 209-210. [in Russian].

8. Khafizov I.F., Kudryavtsev A.A., Shevchenko D.I., Sharafutdinov A.A. Model' obuchaemogo v imitatsionnykh trenazhernykh kompleksakh dlya obucheniya operativnogo personala ob"ektov neftegazovogo sektora [The Student Model in the Simulation and Training Complexes for Training of Operating Personnel the Oil and Gas Sector]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Oil and Gas»]. Ufa, UGNTU, 2016, pp. 369-374. [in Russian].

9. Ustyuzhanina A.Yu., Galkina A.A., Fukalov D.S., Sharafutdinov A.A., Khairetdinov I.A., Khafizov I.F. Razrabotka i sozdanie veb-prilozheniya po modelirovaniyu chrezvychainykh situatsii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh neftegazovogo kompleksa [Development and Creation of a Web Application with Modeling of Emergency Situations on Hazardous Production Facilities of an Oil and Gas Complex]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 210-218. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Закирова Вероника Игоревна, магистрант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Veronika I. Zakirova, Undergraduate Student of the Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: veronika_zakirova@bk.ru

Краснов Антон Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anton V. Krasnov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: 00770088@mail.ru

Хафизов Фаниль Шамильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Fanil Sh. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: fanil150656@mail.ru

Шарафутдинов Азат Амирзагитович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Azat A. Sharafutdinov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: azat_sharaf@mail.ru