

УДК 620.162.4

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПНЕВМОИСПЫТАНИИ
ТРУБОПРОВОДА**

ENSURING SAFETY AT PNEUMOTEST OF THE PIPELINE

**Вадулина Н. В., Ачивакова Л. Р., Салимов А. О.,
Абдрахманова К. Н., Абдуллин Р.С.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Институт нефтегазовых технологий и новых материалов Республики
Башкортостан, г. Уфа, Российская Федерация**

**N. V. Vadulina, L. R. Achivakova, A. O. Salimov,
K. N. Abdrakhmanova, R. S. Abdullin**

**Ufa state petroleum technological university,
Institute of Petroleum Technology and New Materials of Republic of
Bashkortostan, Ufa, Russian Federation**

Аннотация. В работе рассматриваются основы обеспечения жизнедеятельности человека при пневматическом испытании трубопровода. При недопустимой прочности трубы и повышенном давлении происходит разрушение в виде взрыва объекта, сопровождающееся возникновением ударной волны. Ударная волна представляет собой кратковременный процесс весьма быстрого превращения вещества с выделением большого количества энергии в небольшом объеме и является одним из самых опасных воздействий на человека. Типичная ширина ударной волны в воздухе – 10–4 мм (порядка нескольких длин свободного пробега молекул). Малая толщина такой волны дает возможность во многих задачах считать ее поверхностью разрыва. Но в некоторых случаях имеет значение структура ударной

волны. Такая задача представляет и теоретический интерес. Для слабых ударных волн хорошее согласие эксперимента и теории дает модель, учитывающая вязкость и теплопроводность среды. Для ударных волн достаточно большой интенсивности структура должна учитывать (последовательно) стадии установления термодинамического равновесия поступательных, вращательных, для молекулярных газов еще и колебательных степеней свободы, в определенных условиях – диссоциацию и рекомбинацию молекул, химические реакции, процессы с участием электронов (ионизацию, электронное возбуждение). В статье была исследована зависимость условной вероятности поражения человека от изменения избыточного давления ударной волны взрыва. На основании проведенных исследований выявлены меры предотвращения возникновения ударной волны при пневматических испытаниях: строгое соблюдение норм безопасности и условий поддержания давления в трубопроводе, обеспечения допустимых рабочих дистанций и условий проведения пневматических испытаний, наличие необходимого исправного оборудования и арматуры.

Abstract. The work considers the fundamentals of human life during pneumatic testing of pipeline. Invalid strength pipe and high pressure destruction occurs in the form of explosion of the object, accompanied by the appearance of a shock wave. The shock wave is a transient process is very quick conversion of substances with the release of large amounts of energy in a small volume and is one of the most dangerous effects on humans. The typical width of the shock wave in the air – 10-4 mm (several lengths of free path of molecules). Small thickness of such waves gives possibility in many problems to consider it as a discontinuity surface. But in some cases, it is the structure of the shock wave. This task is of theoretical interest. For weak shock waves, a good agreement of experiment and theory gives a model taking into account viscosity and conductivity of the environment. For shock waves of sufficiently high intensity structure should take into account (consistently) the stage of

establishment of thermodynamic equilibrium, the translational, rotational, for molecular gases even and vibrational degrees of freedom, in certain conditions, the dissociation and recombination of molecules, chemical reactions, the processes involving electrons (ionization, electronic excitation). In this paper we have investigated the dependence of the conditional probability of defeat of a man from a change in the overpressure of the shock wave of the explosion. On the basis of the conducted researches the measures to prevent the occurrence of the shock wave pneumatic tests: strict adherence to safety standards and conditions for the maintenance of pressure in the pipeline, ensure an acceptable working range of conditions of the pneumatic tests, the availability of required serviceable equipment and fittings.

Ключевые слова: Пневмоиспытание, ударная волна, очаги поражения, избыточное давление.

Keywords: Pneumotest, shock wave, defeat centers, excessive pressure.

Пневмоиспытание газопровода производится после окончания всех видов работ, предусмотренных планом капитального ремонта участка газопровода: устранения дефектов на трубопроводе, изоляции, балластировки, засыпки, планировки строительной полосы, установки опознавательных знаков, проверки и передачи исполнительной документации заказчику[1,2].

Пневматические испытания изделий назначаются с целью:

1) проверки герметичности изделий для предварительного определения мест негерметичности перед применением высокочувствительных способов контроля, а также для приемочного контроля, если данный метод удовлетворяет требованиям эксплуатации изделия, а использование других методов контроля герметичности.

2) проверки прочности изделий - в исключительных случаях, когда проведение гидравлических испытаний невозможно или нерационально

(промышленное использование изделия не допускает наличия даже следов влаги; конструкция изделия не приспособлена для наполнения водой; статические нагрузки при заполнении изделия водой недопустимы по условиям прочности изделия, опорных конструкций и фундамента)

Суть пневмоиспытания состоит в создании перепада давления и проверке устойчивости трубопровода к этому испытанию.

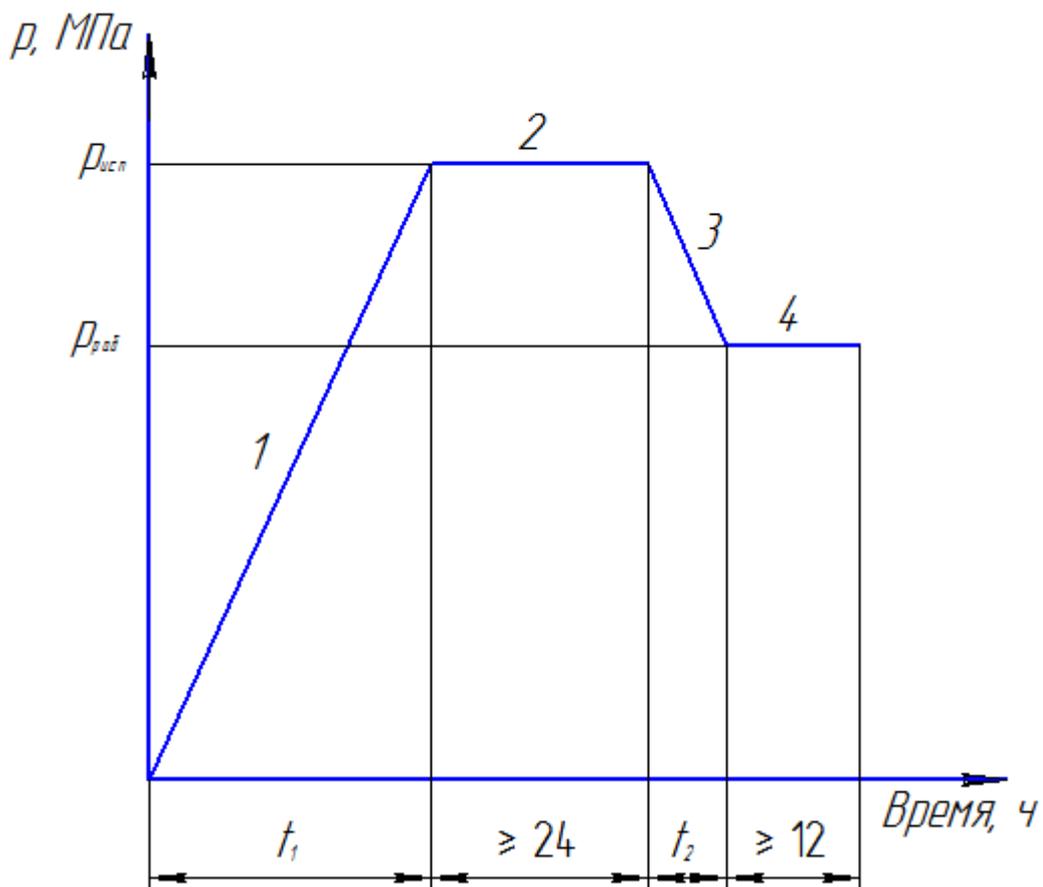


Рис 1. Зависимость необходимого давления от времени

Основным опасным фактором при испытаниях под давлением является неконтролируемый выход аккумулированной энергии. При пневматических испытаниях выход энергии реализуется в ударной волне потока и в образовании летящих предметов.

Под действием ударной волны происходит разрушение зданий, сооружений, транспортных магистралей. Незащищенные люди получают закрытые и открытые повреждения, так как в силу небольших размеров

тела человека ударная волна мгновенно охватывает человека и подвергает его сильному сжатию в течение нескольких секунд. Мгновенное повышение давления воспринимается живым организмом как резкий удар. Причиной открытых повреждений являются чаще всего вторичные факторы действия ударной волны – летящие обломки трубопровода. Кроме того, скоростной напор при этом создает значительное лобовое давление, которое может привести к перемещению тела в пространстве. Продолжительность действия ударной волны составляет около 15 с. [3-5]

Прямое воздействие ударной волны на людей и животных возникает в результате воздействия избыточного давления и скоростного напора воздуха. Ввиду небольших размеров тела человека ударная волна мгновенно охватывает и подвергает его сильному сжатию в течение нескольких секунд. Мгновенное повышение давления воспринимается живым организмом как резкий удар. Скоростной напор при этом создает значительное лобовое давление, которое может привести к перемещению тела в пространстве. Косвенные поражения людей и животных могут произойти в результате ударов осколков стекла, шлака, камней, дерева и других предметов, летящих с большой скоростью.

Степень воздействия ударной волны зависит от мощности взрыва, расстояния, метеоусловий, местонахождения (в здании, на открытой местности) и положения человека (лежа, сидя, стоя) и характеризуется легкими, средними, тяжелыми и крайне тяжелыми травмами.

Избыточное давление во фронте ударной волны 10 кПа и менее для людей и животных, расположенных вне укрытий, считается безопасным.[3]

Легкие поражения наступают при избыточном давлении 20...40 кПа. Они выражаются кратковременными нарушениями функций организма (звоном в ушах, головокружением, головной болью). Возможны вывихи, ушибы.

Поражения средней тяжести возникают при избыточном давлении 40...60 кПа. При этом могут быть вывихи конечностей, контузии головного мозга, повреждение органов слуха, кровотечения из носа и ушей.

Тяжелые контузии и травмы возникают при избыточном давлении 60...100 кПа. Они характеризуются выраженной контузией всего организма, переломами костей, кровотечениями из носа, ушей; возможно повреждение внутренних органов и внутреннее кровотечение. Крайне тяжелые контузии и травмы у людей возникают при избыточном давлении более 100 кПа. Отмечаются разрывы внутренних органов, переломы костей, внутренние кровотечения, сотрясение мозга с длительной потерей сознания. Разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (печени, селезенке, почках), наполненных газом (легких, кишечнике), имеющих полости, наполненные жидкостью (головном мозге, мочевом и желчном пузырях). [6-8] Эти травмы могут привести к смертельному исходу.

Радиус поражения обломками зданий при избыточном давлении 2–7 кПа может превысить радиус непосредственного поражения ударной волны.

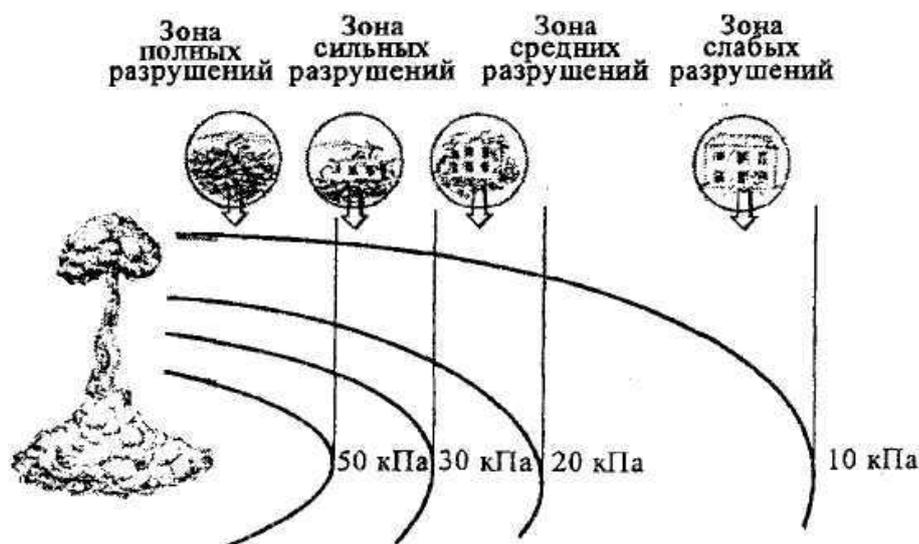


Рис 2. Очаги поражений при воздействии ударной волны

На рисунках 3 – 9 приведена динамика изменения избыточного давления ударной волны взрыва и условной вероятности поражения человека [9-11].

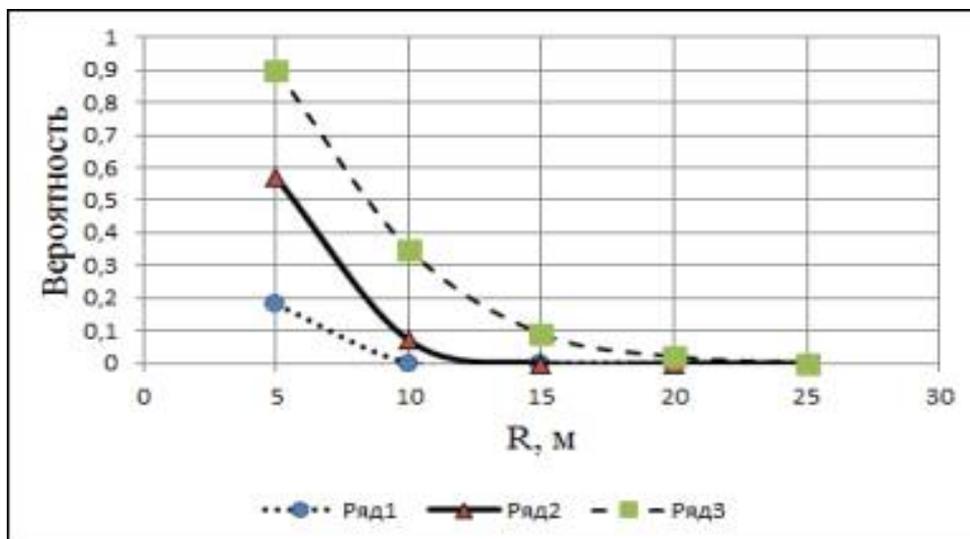


Рисунок 3 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газозвушной смеси от расстояния до эпицентра взрыва ($\tau = 1$ мин) Ряд 1 – $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2 - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3 - $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

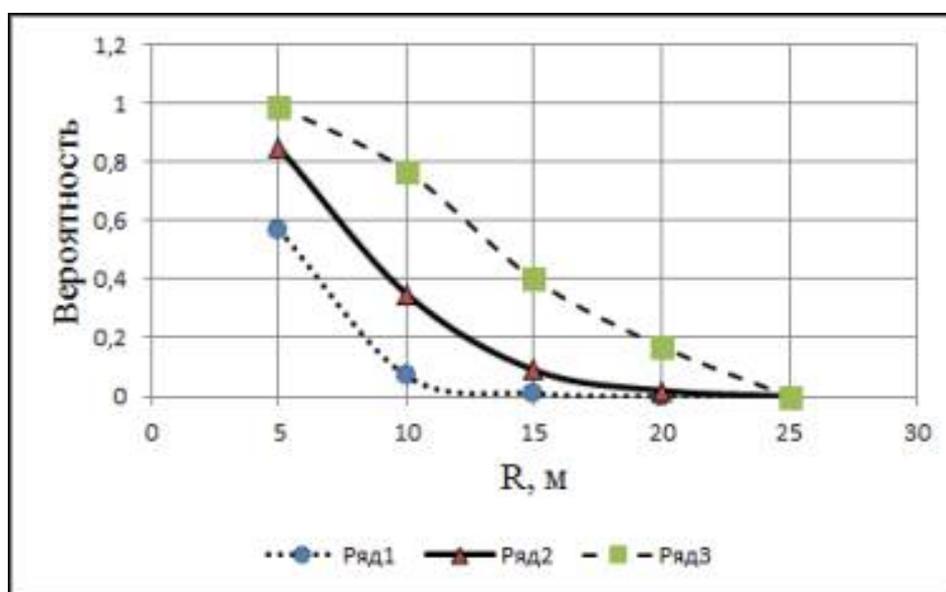


Рисунок 4 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газозвушной смеси от расстояния до эпицентра взрыва ($\tau = 2$ мин) Ряд 1 – $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2 - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3 - $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

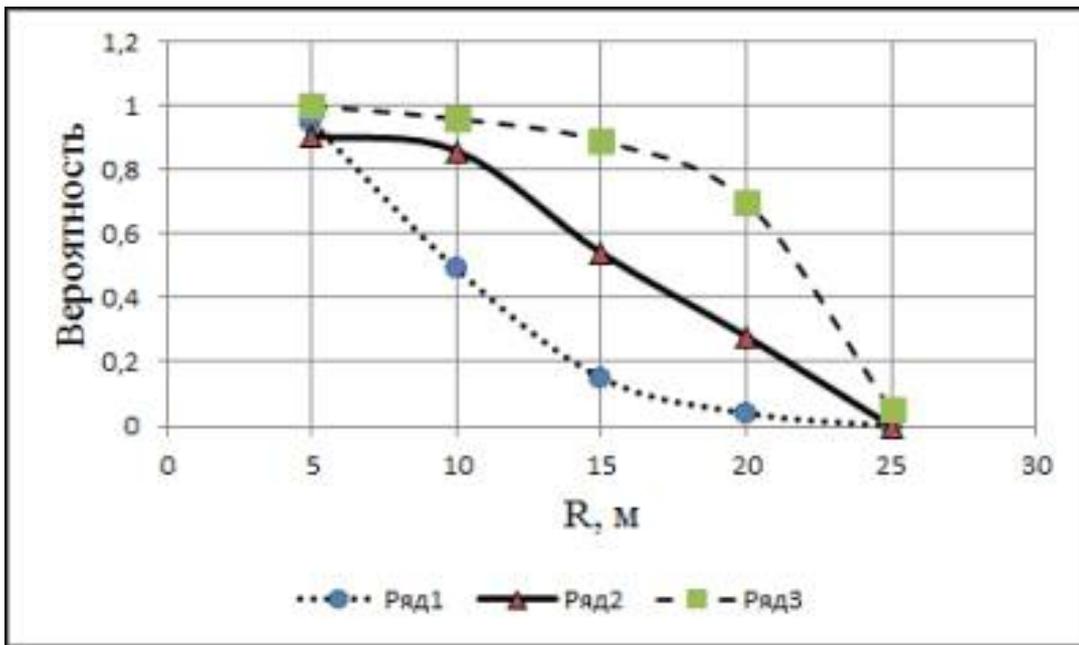


Рисунок 5 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газовой смеси от расстояния до эпицентра взрыва ($\tau = 5$ мин), Ряд 1 – $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2 - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3 - $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

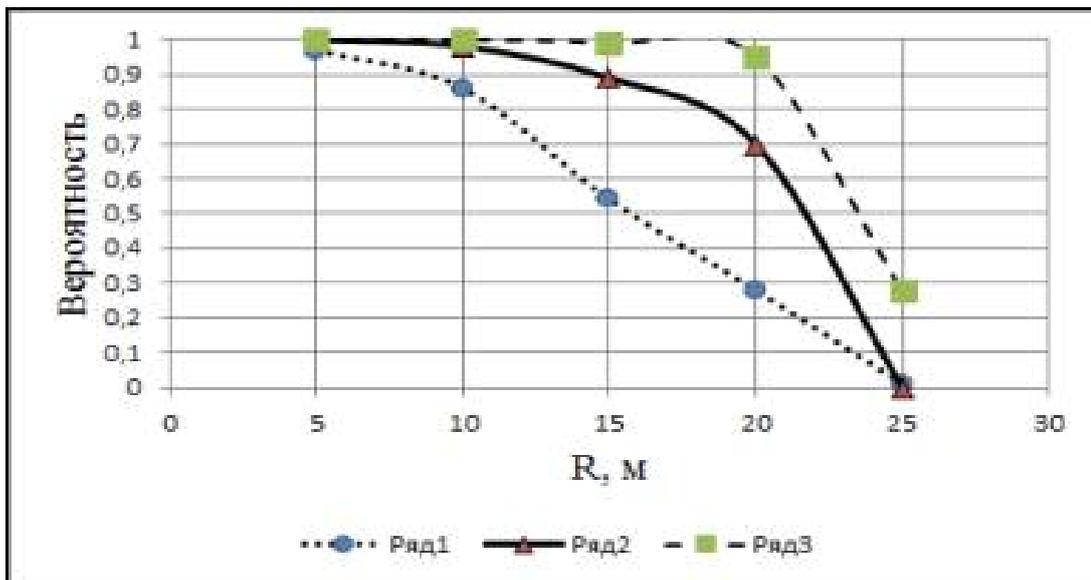


Рисунок 6 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газовой смеси от расстояния до эпицентра взрыва ($\tau = 10$ мин) Ряд 1 – $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2 - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3 - $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

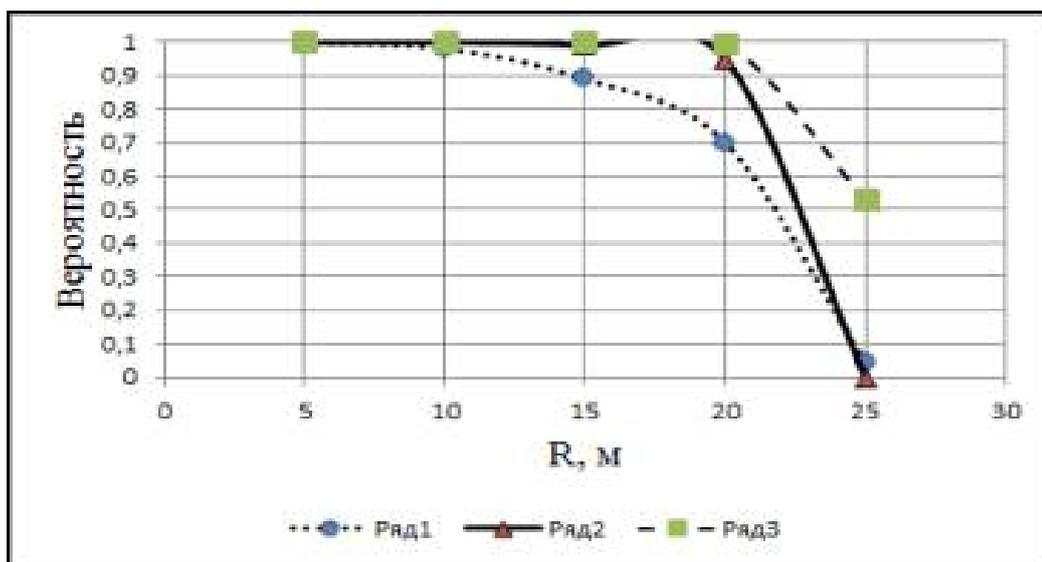


Рисунок 7 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газовой смеси от расстояния до эпицентра взрыва ($\tau = 20$ мин) Ряд 1 – $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2 - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3 - $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

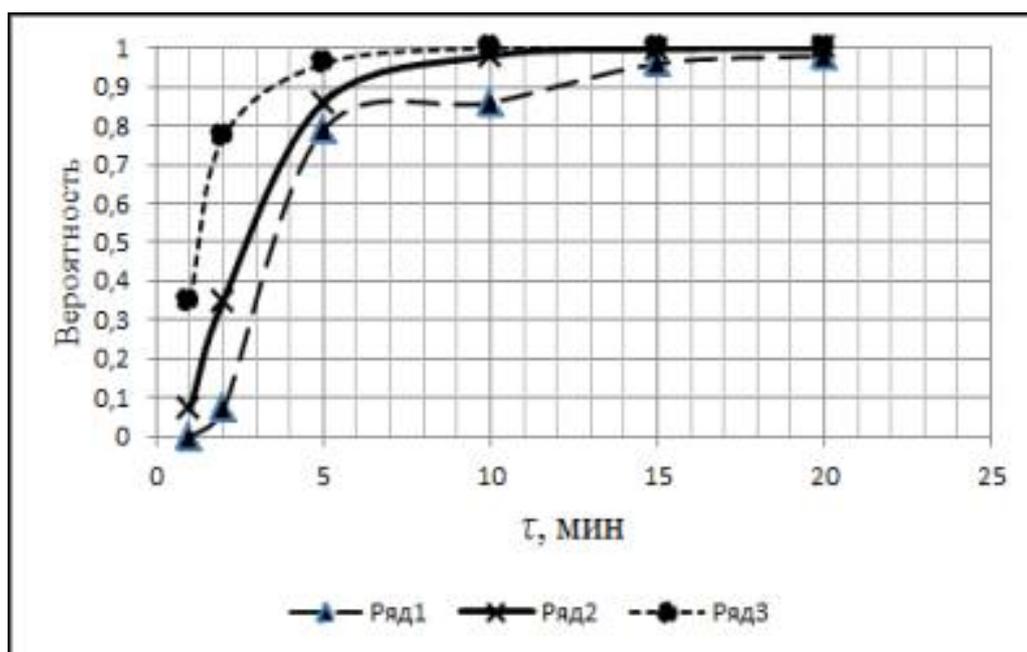


Рисунок 8 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газовой смеси от времени закрытия запорных устройств трубопровода ($R = 10$ м) Ряд 1, $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 2, $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, ряд 3, $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$

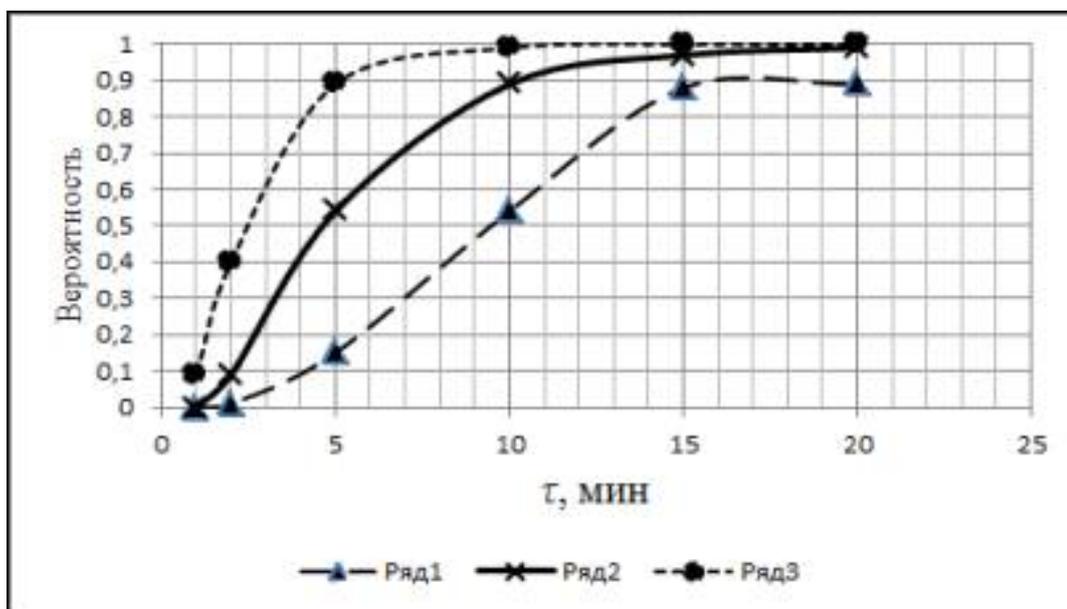


Рисунок 9 - График зависимости условной вероятности поражения персонала при взрыве газовой смеси от времени закрытия запорных устройств трубопровода ($R = 15$ м), Ряд 1 – $Q = 0,5$ м³/с, ряд 2 – $Q = 1,5$ м³/с, ряд 3 – $Q = 2,0$ м³/с

Анализ данных рисунков показывает, что динамика изменения избыточного давления ударной волны взрыва и условной вероятности поражения человека, при взрыве газовой смеси, зависит от расстояния до эпицентра взрыва и от времени закрытия запорных устройств трубопровода [12,13]. Возникающие при этом пожары и взрывы, вероятность их наступления, последствия на обслуживающий персонал могут быть предварительно рассчитаны на основании теоретических и экспериментальных исследований специалистов и ученых в этой области. [14,15]

Выводы. Таким образом, была рассмотрена безопасность при проведении пневмоиспытаний трубопровода. Наиболее опасным риском является возникновение ударной волны, приводящая к тяжелым травмам. Также была исследована зависимость условной вероятности поражения человека от изменения избыточного давления ударной волны взрыва, на основании которой выявлены меры предотвращения возникновения ударной волны при пневмоиспытаниях: строгое соблюдение норм безопасности и условий поддержания давления в трубопроводе,

обеспечения допустимых рабочих дистанций и условий проведения пневмоиспытаний, необходимого работоспособного оборудования и арматуры.

Список используемых источников

1 Типовые расчеты при сооружении газонефтепроводов: учеб. пособие для вузов / Л. И. Быков, Ф.М. Мустафин, С. К. Рафиков и др. Санкт–Петербург: Недра, 2006. 824 с.

2 Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли /Р. А. Кускильдин, Н. А. Абдрахманов, З. А. Закирова, Э.Ф. Ялалова, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. №2(108).С.111-120.

3 Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: «Наука», 1966. 327с.

4 Абдрахманов Н. Х. Исследование и анализ нестационарности возникновения и развития потенциально опасных ситуаций при эксплуатации опасных производственных объектов/ Н. Х. Абдрахманов, Н. В. Шутов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. А. Шайбаков// Нефтегазовое дело: электрон. журн./УГНТУ. 2015. №1. С.292-306.

5 Шайбаков Р. А. Помехоустойчивый метод акустико-эмиссионного мониторинга резервуаров / Р.А. Шайбаков, Н.Х. Абдрахманов, Д.Г. Давыдова, А.Н. Кузьмин, А.Г. Марков // Нефтегазовое дело: электрон. Журн.. 2013. № 4. С. 448-464.

6 Безопасность жизнедеятельности: защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях /Я. Д. Вишняков, В. И. Вагин, В. В. Овчинников, А. Н. Стародубец. М., Академия, 2006. 543с.

7 Кузнецов Н. М. Устойчивость ударных волн. Уфа: "УФН", 2003. 493с;

8 Абдрахманов Н. Х. Требования к информационному, организационному и техническому обеспечению построения информационно- управляющей системы безопасности для предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности/ Н. Х. Абдрахманов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. Н. Абдрахманов // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 2 (8). С. 14-17.

9 Федосов А. В., Солодовников А. В. Организация безопасного проведения работ с повышенной опасностью в организациях по обслуживанию населения: монография. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. 248 с.

10 Обеспечение безопасности технологических трубопроводных систем на предприятиях нефтегазового комплекса/ Н. Х. Абдрахманов, А. А. Турдыматов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13, № 4.С. 254-260.

11 Принципы разработки информационной модели управления минимизацией рисков опасных производственных объектов нефтегазового комплекса / Н. Х. Абдрахманов, Н. В. Шутов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. А. Шайбаков // Нефтегазовое дело: электрон. журн. 2014. №4.С.353-367.

12 Федосов А. В. , Хазинурова Л. С. , Вадулина Н. В. Некоторые вопросы проведения специальной оценки условий труда // Нефтегазовое дело: электрон. журн. 2015. №2. С.457-476.

13 Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств / Н. Х. Абдрахманов, В. П. Матвеев, А. С. Ницета, В. В. Савицкий, О. А. Доржиева, Т. А. Хакимов // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2015. №5. С.162-164.

14 Абдрахманов Н. Х. Создание системы оперативного мониторинга промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов / Н. Х. Абдрахманов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. А. Шайбаков // Экспертиза промышленной безопасности на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: сб. материалов науч.-практ. конф. 20-21 мая 2015г. Уфа: Изд-во УГНТУ. С.19-23.

15 Эффективность химической ингибиторной защиты в борьбе с внутренней коррозией промысловых трубопроводов/ А. А. Турдыматов, Н. Х. Абдрахманов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко // Нефтегазовое дело: электрон. журн. 2016. №3. С.137-156.

References

1 Tipovye raschety pri sooruzhenii gazonefteprovodov: ucheb. posobie lja vuzov / L. I. Bykov, F.M. Mustafin, S. K. Rafikov i dr. Sankt–Peterburg: Nedra, 2006. 824 s. [in Russian].

2 Sovremennye tehnologii dlja provedenija proizvodstvennogo kontrolja, povyshajushhie uroven' promyshlennoj bezopasnosti na ob#ektah neftegazovoj otrasli /R. A. Kuskil'din, N. A. Abdrahmanov, Z. A. Zakirova, Je.F. Jalalova, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov. 2017. №2(108).S.111-120. [in Russian].

3 Zel'dovich Ja. B., Rajzer Ju. P. Fizika udarnyh voln i vysokotemperaturnyh gidrodinamicheskikh javlenij. M.: «Nauka», 1966. 327s. [in Russian].

4 Abdrahmanov N. H. Issledovanie i analiz nestacionarnosti vzniknovenija i razvitija potencial'no opasnyh situacij pri jekspluatacii opasnyh proizvodstvennyh obektov/ N. H. Abdrahmanov, N. V. Shutov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko, R. A. Shajbakov// Neftegazovoe delo: jelektron. zhurn./UGNTU. 2015. №1. S.292-306. [in Russian].

5 Shajbakov R. A. Pomehoustojchivyyj metod akustiko-jemissionnogo monitoringa rezervuarov / R.A. Shajbakov, N.H. Abdrahmanov, D.G. Davydova, A.N. Kuz'min, A.G. Markov // Neftegazovoe delo: jelektron. Zhurn.. 2013. № 4. S. 448-464. [in Russian].

6 Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: zashhita naselenija i territorij v chrezvychajnyh situacijah /Ja. D. Vishnjakov, V. I. Vagin, V. V. Ovchinnikov, A. N. Starodubec. M., Akademija, 2006. 543s. [in Russian].

7 Kuznecov H. M. Ustojchivost' udarnyh voln. Ufa: "UFN", 2003. 493s. [in Russian].

8 Abdrahmanov N. H. Trebovanija k informacionnomu, organizacionnomu i tehničeskomu obespečeniju postroenija informacionno- upravljajushhej sistemy bezopasnosti dlja predprijatij neftegazopererabatyvajushhej promyshlennosti/ N. H. Abdrahmanov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko, R. N. Abdrahmanov // Jekspertiza promyshlennoj bezopasnosti i diagnostika opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov. 2016. № 2 (8). S. 14-17. [in Russian].

9 Fedosov A. V., Solodovnikov A. V. Organizacija bezopasnogo provedenija rabot s povyšhennoj opasnost'ju v organizacijah po obsluzhivaniju naselenija: monografija. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2015. 248 s. [in Russian].

10 Obespečenje bezopasnosti tehnologičeskikh truboprovodnyh sistem na predprijatijah neftegazovogo kompleksa/ N. H. Abdrahmanov, A. A. Turdymatov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko // Neftegazovoe delo. 2015. T. 13, № 4.S. 254-260. [in Russian].

11 Principy razrabotki informacionnoj modeli upravlenija minimizaciej riskov opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov neftegazovogo kompleksa / N. H. Abdrahmanov, N. V. Shutov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko, R. A. Shajbakov // Neftegazovoe delo: jelektron. zhurn. 2014. №4.C.353-367. [in Russian].

12 Fedosov A. V., Hazinurova L. S., Vadulina N. V. Nekotorye voprosy provedenija special'noj ocenki uslovij truda // Neftegazovoe delo: jelektron. zhurn. 2015. №2. S.457-476. [in Russian].

13 Analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta issledovanij v oblasti bezopasnogo proektirovanija i jekspluatacii tehnologicheskikh ob#ektov neftepererabatyvajushhix i neftehimicheskix proizvodstv / N. H. Abdrahmanov, V. P. Matveev, A. S. Nishheta, V. V. Savickij, O. A. Dorzhieva, T. A. Hakimov // Jekspertiza promyshlennoj bezopasnosti i diagnostika opasnyh proizvodstvennyh obektov. 2015. №5. S.162-164. [in Russian].

14 Abdrahmanov N. H. Sozdanie sistemy operativnogo monitoringa promyshlennoj i jekologicheskoy bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov / N. H. Abdrahmanov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko, R. A. Shajbakov // Jekspertiza promyshlennoj bezopasnosti na vzryvopozharoopasnyh i himicheskix opasnyh proizvodstvennyh obektah: sb. materialov nauch.-prakt. konf. 20-21 maja 2015g. Ufa: Izd-vo UGNTU. S.19-23. [in Russian].

15 Jeffektivnost' himicheskoy ingibitornoj zashhity v bor'be s vnutrennej korroziej promyslovyh truboprovodov/ A. A. Turdymatov, N. H. Abdrahmanov, K. N. Abdrahmanova, V. V. Vorohobko // Neftegazovoe delo: jelektron. zhurn. 2016. №3. S.137-156. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Вадулина Н. В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

N. V. Vadulina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Industrial Safety and Labor Protection» FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: pbot@mail.ru

Ачивакова Л. Р., студент гр. БМТ 13-01, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа,
Российская Федерация.

L. R. Achivakova, student group BMT 13-01, FSBEI HE «USPTU», Ufa,
Russian Federation

e-mail: achiiyakova@gmail.com

Салимов А. О., студент гр. БАЭ 16-01 ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа,
Российская Федерация

A. O. Salimov, student group BAE 13-01 FSBEI HE «USPTU», Ufa,
Russian Federation

e-mail: vgalliamov@gmail.com

Абдрахманова К. Н., магистрант гр. МБП01-16-01 ФГБОУ ВО
«УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация.

K. N. Abdrakhmanova, student group MBP01-16-01 FSBEI HE «USPTU»,
Ufa, Russian Federation

e-mail: akarinan@mail.ru

Абдуллин Р. С., д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Институт
нефтегазовых технологий и новых материалов Республики Башкортостан,
г. Уфа, Российская Федерация

R. S. Abdullin, Doctor of Engineering Sciences, chief researcher, Institute of
petroleum technology and new materials of Republic of Bashkortostan, Ufa,
Russian Federation

e-mail: AbdullinRS@mail.ru