

УДК 629.039.58

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ  
УТОНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ОБОЛОЧКИ  
ПРИ КОРРОЗИОННОМ РАЗРУШЕНИИ**

**MODELING OF SHELL THICKNESS THINNING EFFECT  
ON THE STRESS STATE AND CORROSION FAILURE**

**К.Н. Абдрахманова, Е.В. Ярмонов, П.А. Кулаков, Р.Р. Тляшева**

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

**Karina N. Abdrakhmanova, Evgenii V. Yarmonov,  
Petr A. Kulakov, Rezeda R. Tlyasheva**

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

**Аннотация.** Нефтегазовая отрасль характеризуется большим количеством пожаровзрывоопасных веществ, сложных технологических процессов. Обеспечение безопасности и предупреждение аварий являются важными вопросами нефтегазовой промышленности. Большая часть оборудования была введена в эксплуатацию в 50-х годах прошлого века, что свидетельствует о наличии большого количества дефектов и коррозии. Статистический анализ и исследования произошедших аварий позволяют выявить часто встречающиеся причины и предпосылки к возникновению негативных ситуаций на опасных производственных предприятиях. Моделирование в современных программных комплексах способствует качественной оценке сложившейся ситуации в целом, анализу возникающих напряжений в стенке оборудования и принятия правильных

решений для продления безопасного ресурса эксплуатации и повышения надежности оборудования.

Толщина стенки оболочки, даже до введения в эксплуатацию, является неоднородной в виду различных причин. Зачастую это не учитывается при конструировании и эксплуатации. В данной работе рассмотрено влияние на напряженное состояние утонения стенки оболочки с учетом возможного допустимого отклонения в пределах ГОСТ, а также наличия коррозии. В качестве исследуемого объекта выбрана цилиндрическая оболочка, выполненная из стали 09Г2С. Данная марка стали широко применяется в нефтегазовой промышленности. Зона утонения варьировалась по длине объекта исследования, катушками, в процентах 0 %, 15 %, 30 %, 45 %, 60 %, 75 %, 90 %, 100 % от общей площади поверхности цилиндрической части объекта. Срок воздействия коррозии 5 лет, 0,1 мм в год. Моделирование и расчеты проводились в программном комплексе SolidWorks. По результатам расчетов, совокупное влияние утонения в пределах допустимого возможного отклонения при низких давления не несет в себе опасности. В случае повышения давления до 6 МПа и выше, что часто применяется в сложных технологических процессах, как гидрокрекинг, в стенке оболочки наблюдается существенное повышение напряжения, что может поспособствовать ухудшению прочностных характеристик.

**Abstract.** Oil and gas industry is characterized by a large number of fire and explosion hazardous substances, complex technological processes. Ensuring safety and preventing accidents are important issues for oil and gas industry. Most of equipment was put into service in the 50-s of the last century, which indicates the presence of a large number of defects and corrosion. Statistical analysis and research of accidents that have occurred before allow us to identify the most common causes and requisites for occurrence of negative situations at hazardous industrial enterprises. Modeling in modern software systems contributes to assessment of whole current situation, analysis of arising stresses in an equipment

shell and helps to make correct decisions to extend the safe service life and increase equipment reliability.

The shell thickness, even before putting into service, is non-uniform due to various reasons. This is often not taken into account during design and operation. In this paper, is considered the effect of shell thickness thinning on a stress state taking into account possible permissible deviation within the limits of State Standard, as well as the presence of corrosion. A cylindrical shell made of 09G2S steel was chosen as the object under study. This steel is widely used in oil and gas industry. The thinning zone varied along the length of research object, by rings, in percentages of 0 %, 15 %, 30 %, 45 %, 60 %, 75 %, 90 %, 100 % of total surface area of object cylindrical part. Corrosion effect period 5 years, 0.1 mm per year. Modeling and calculations were carried out in the SolidWorks software package. According to calculations results, the cumulative effect of thinning, within the limits of permissible possible deviation at low pressures does not pose a danger. In case of pressure increase up to 6 MPa and above, which is often used in complex technological processes, such as hydro cracking, is observed a significant increase in stress in shell, which can contribute to a deterioration in strength characteristics.

**Ключевые слова:** напряженное состояние; утонение толщины стенки; коррозия; цилиндрическая оболочка; промышленная безопасность; ресурс безопасной эксплуатации; надежность

**Key words:** stress state; thickness thinning; corrosion; cylindrical shell; industrial safety; safe operation resource; reliability

Нефтегазовая отрасль характеризуется большим количеством пожаровзрывоопасных веществ, применяемых на производстве, сложными интенсивными технологическими процессами и достаточно высоким показателем аварийности. Аварии в свою очередь приводят к выбросам опасных веществ, которые уничтожают окружающую природную среду и

негативно влияют на социальную. Подобная ситуация не должна наблюдаться ни в одной стране мира, безопасность и ответственность перед природой и людьми должны стать ключевым моментом развития любой промышленности.

Большая часть оборудования на объектах нефтегазового комплекса Российской Федерации введена в эксплуатацию еще в 50-х годах прошлого века, что свидетельствует об изношенности оборудования, наличии большого количества дефектов. Повреждения накапливаются, технологические процессы усложняются, что сильно сказывается на прочностных характеристиках и несущей способности оборудования [1].

К авариям в свою очередь приводят следующие факторы:

- неудовлетворительное состояние оборудования;
- коррозия;
- утонение толщины стенок;
- нарушение требований промышленной безопасности;
- человеческий фактор.

Важно предупредить аварии и инциденты на стадии образования дефекта, не допустить их развитие и последствия, выбрать наиболее приемлемый сценарий дальнейших действий, продлить ресурс безопасной эксплуатации и повысить надежность [2].

Одной из основных задач организаций, эксплуатирующих опасные производственных объекты, – это обеспечение безопасной эксплуатации. Причинами аварий являются различные факторы, одним из которых является коррозия. По некоторым данным, около 12 % аварий в нефтегазовой отрасли происходит по причине коррозии оборудования. При наличии коррозии меняются свойства металла, ухудшаются его функциональные характеристики, а в совокупности с утонением стенки негативный эффект еще больше [3, 4].

Значительная часть аварий связана с электрохимической коррозией, коррозионным растрескиванием под напряжением и микробиологической

коррозией. Вопрос защиты от коррозии трубопроводов считается одним из наиболее сложных ввиду следующих причин:

- значительной протяженностью коммуникаций;
- разветвленностью трубопроводных сетей;
- сложным и неоднородным составом перекачиваемых жидкостей;
- характеристиками почв на участках пролегания трубопровода [5].

В нефтепереработке особое воздействие оказывают агрессивные технологические среды, сложные технологические процессы с использованием высоких температур и давления.

Зачастую в нефтегазовой области применяются углеродистые и легированные хромистые стали. Некоторые материалы – более устойчивые, как 20Х13, и неустойчивые, как Ст.3 и 09Г2С. Несмотря на это, даже неустойчивые материалы широко применяются в машиностроении, но требуют соответствующей защиты от коррозии. К примеру, для защиты от коррозии в пластовой воде Ст.3 и хромистой стали применяют катодную электрохимическую защиту. Кроме того, применение разнородных металлов может привести к усилению коррозии одного из них. В сварных соединениях и в зонах термического влияния может развиваться питтинговая коррозия, которая в свою очередь может привести к сквозному разрушению металла [6, 7].

Несмотря на разработанные ингибиторы коррозии, электрохимзащиту и другие мероприятия, полностью остановить процесс разрушения материала невозможно. Важно постоянно наблюдать развитие коррозии, учитывать ее воздействие в совокупности с другими дефектами, проводить необходимые расчеты в целях определения возможности дальнейшей безопасной эксплуатации объекта и повышения его надежности. Система постоянного мониторинга и анализа предыдущего и фактического состояния объекта в режиме реального времени лежит в основе цифрового двойника, в основе которого в свою очередь лежит корректно построенная 3Д модель объекта исследования. На сегодняшний день применение компьютерного

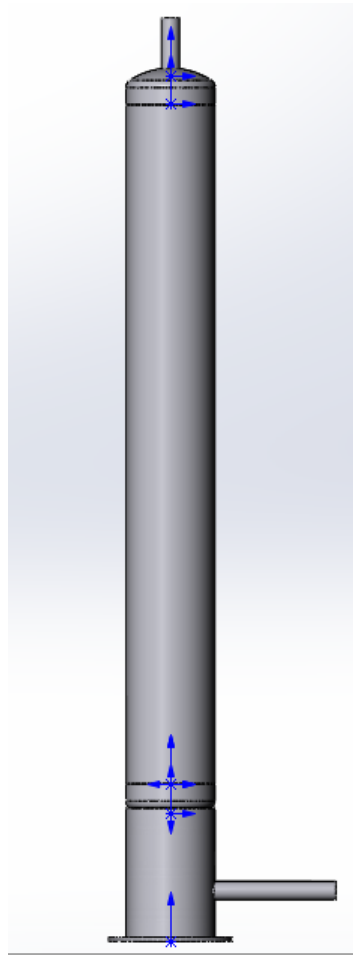
моделирования сильно облегчает жизнь инженеров в различных областях [8].

В данной работе было изучено влияние образования коррозии на возникающие напряжения в стенке оболочки с имеющимся утонением толщины стенки при ее нагружении. Расчет напряженного состояния объекта позволяет определить возможные слабые места. Построение модели и расчеты проводились в программном комплексе SolidWorks. Данный программный комплекс САПР был разработан компанией SolidWorks Corporation для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах проектирования, технологической подготовки производства и в целях управления данными процессами [9–12].

В данной работе в качестве расчетной модели рассмотрена цилиндрическая оболочка, выполненная из стали 09Г2С, с внешним диаметром 108 мм, толщиной стенки 6 мм. Длина цилиндрической части, ограниченной с двух сторон заглушками, составляет 800 мм. Цилиндрическая обечайка выполнена согласно ГОСТ 32678-2014, днища  $\text{Ø}108 \times 8$  мм по ГОСТ 17379-2001. Предел текучести составляет 295 МПа.

На рисунке 1 представлена построенная в программном комплексе SolidWork модель исследуемой оболочки.

Утонение стенки оболочки даже в допустимых пределах согласно ГОСТ имеет достаточное влияние на напряжение. В данной работе представлены результаты нагружения оболочки с локальным утонением. Зона дефекта варьировалась в процентах по длине обечайки от 0 % до 100 %. Отклонение толщины стенки даже в допустимом диапазоне может значительно повлиять на напряженное состояние.



**Рисунок 1.** Модель исследуемой оболочки

В работе смоделированы отклонения толщины стенки исследуемой обечайки на максимально допустимое значение 1,08 мм, толщина в зоне утонения составила 4,92 мм, а остальные участки были приняты 7,08 мм, то есть с максимально допустимым отклонением в положительную сторону. При каждом расчете происходило нагружение оболочки внутренним давлением, вплоть до предела текучести.

Полученные результаты ряда нагружений исследуемой оболочки при различной площади участка утонения представлены в таблице 1.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость максимальных напряжений от утонения толщины и при воздействии давления, где справа указана площадь утонения, в процентах от общей площади.

**Таблица 1.** Результаты нагружений исследуемой оболочки при различной площади участка утонения

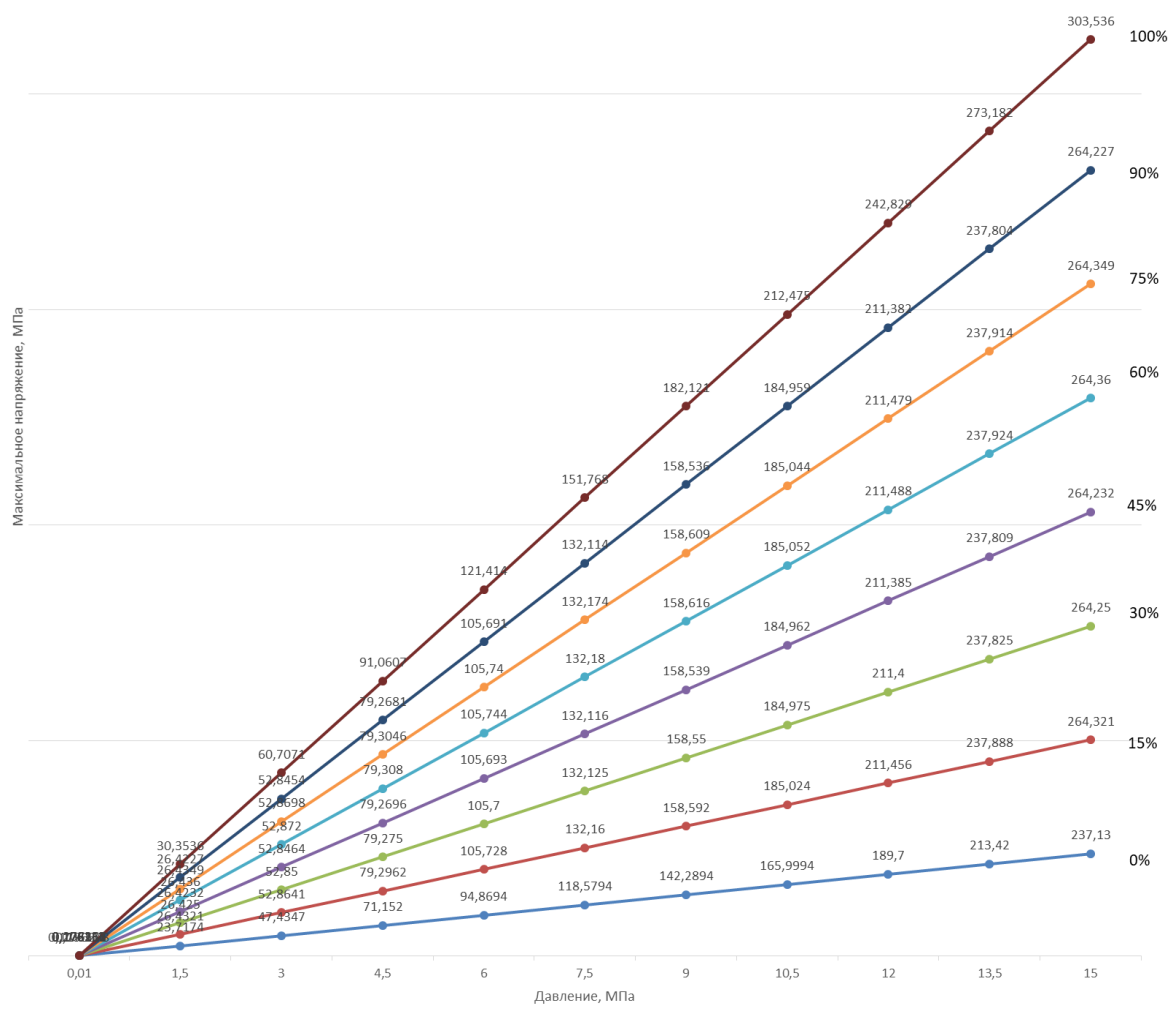
Давление Р, МПа	Максимальное напряжение, МПа (в зависимости от площади участка утонения металла по длине, % от длины)							
	0	15	30	45	60	75	90	100
0,01	0,179058	0,176214	0,176167	0,176155	0,17624	0,176233	0,176151	0,202357
1,50	23,7174	26,4321	26,425	26,4232	26,436	26,4349	26,4227	30,3536
3,00	47,4347	52,8641	52,85	52,8464	52,872	52,8698	52,8454	60,7071
4,50	71,152	79,2962	79,275	79,2696	79,308	79,3046	79,2681	91,0607
6,00	94,8694	105,728	105,7	105,693	105,744	105,74	105,691	121,414
7,50	118,5794	132,16	132,125	132,116	132,18	132,174	132,114	151,768
9,00	142,2894	158,592	158,55	158,539	158,616	158,609	158,536	182,121
10,50	165,9994	185,024	184,975	184,962	185,052	185,044	184,959	212,475
12,00	189,7	211,456	211,4	211,385	211,488	211,479	211,382	242,829
13,50	213,42	237,888	237,825	237,809	237,924	237,914	237,804	273,182
15,00	237,13	264,321	264,25	264,232	264,36	264,349	264,227	303,536

Наиболее важным и опасным является совокупное воздействие нескольких дефектов. Поэтому во избежание аварий и повышения надежности оборудования, в случае агрессивных транспортируемых или использующихся агрессивных веществ, необходимо учесть влияние коррозии.

В данном случае рассматривалось влияние коррозии 0,1 мм в год, срок воздействия 5 лет, на напряженное состояние оболочки при имеющемся утонении толщины стенки. Результаты расчетов с учетом коррозии представлены в таблице 2.

Графическую зависимость максимальных напряжений от утонения толщины с учетом коррозии и при воздействии давления мы можем наблюдать на рисунке 3.



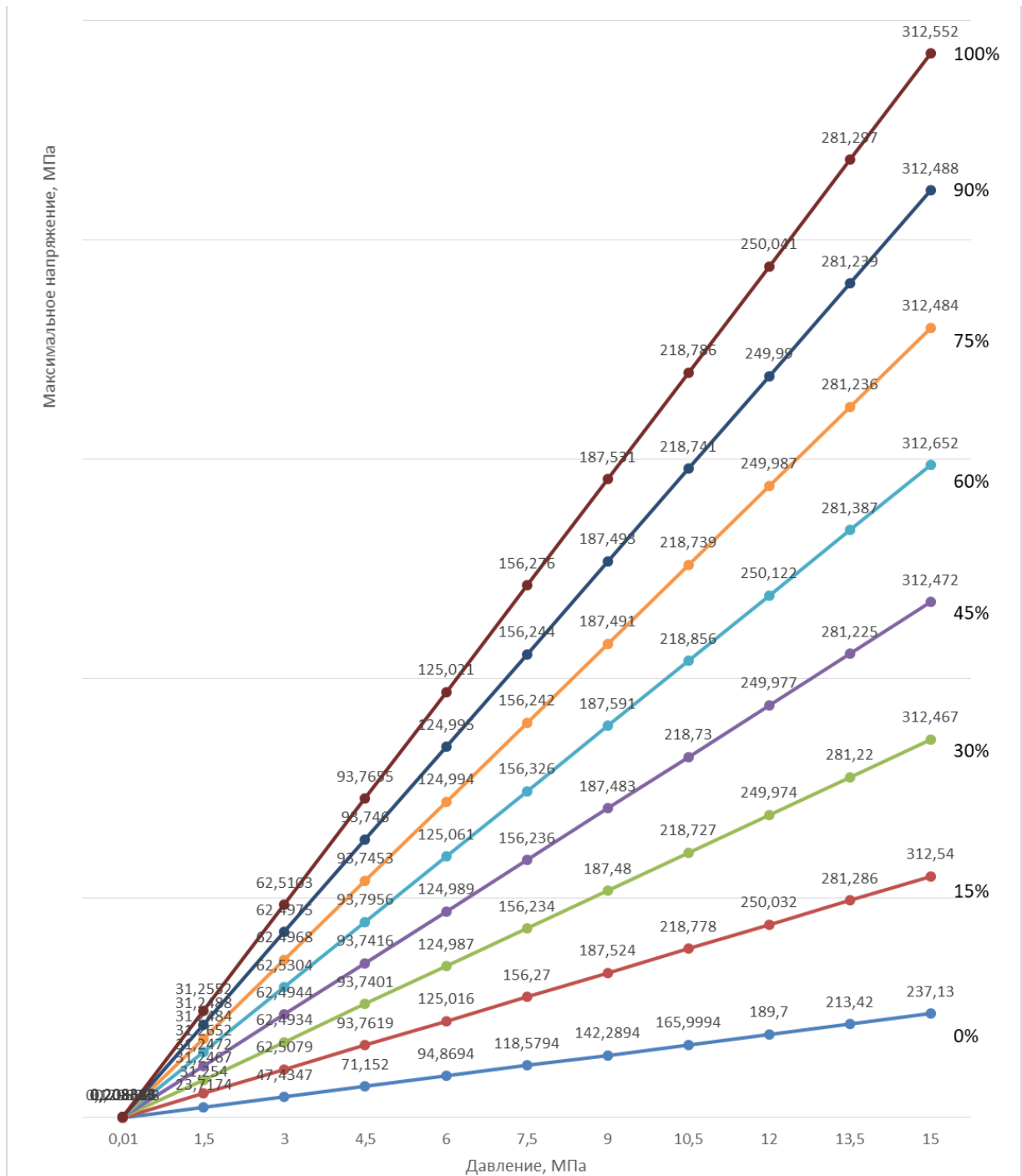


Справа указана площадь утонения, % от общей площади

**Рисунок 2.** Графическая зависимость максимальных напряжений от утонения толщины и при воздействии давления,

**Таблица 2.** Результаты расчета напряженного состояния с учетом коррозии

Давление P, МПа	Максимальное напряжение, МПа (в зависимости от утонение металла по длине, % от длины)							
	0	15	30	45	60	75	90	100
0,01	0,179058	0,20836	0,208311	0,208315	0,208435	0,2083	0,20833	0,20837
1,50	23,7174	31,254	31,2467	31,2472	31,2652	31,248	31,2488	31,2552
3,00	47,4347	62,5079	62,4934	62,4944	62,5304	62,497	62,4975	62,5103
4,50	71,152	93,7619	93,7401	93,7416	93,7956	93,745	93,746	93,7655
6,00	94,8694	125,016	124,987	124,989	125,061	124,99	124,995	125,021
7,50	118,5794	156,27	156,234	156,236	156,326	156,24	156,244	156,276
9,00	142,2894	187,524	187,48	187,483	187,591	187,49	187,493	187,531
10,50	165,9994	218,778	218,727	218,73	218,856	218,74	218,741	218,786
12,00	189,7	250,032	249,974	249,977	250,122	249,99	249,99	250,041
13,50	213,42	281,286	281,22	281,225	281,387	281,24	281,239	281,297
15,00	237,13	312,54	312,467	312,472	312,652	312,48	312,488	312,552



**Рисунок 3.** Зависимость максимальных напряжений от утонения толщины с учетом коррозии и при воздействии давления

Таким образом, по полученным в результате напряжениям можно сделать следующие выводы:

- зависимость напряжения и давления имеет прямо пропорциональный характер;

- при малых давлениях 1,5 МПа напряжение, возникающее в стенке исследуемой оболочки даже при площади утонения равной 90 % от общей площади поверхности, изменилось не значительно;

- при высоких давлениях равных 6 МПа и выше, которое применяется в таких технологических процессах, как гидрокрекинг, напряжения изменяются значительно. При сравнении показателей при наличии утонения стенки в 15 % и 100 % при давлении 6 МПа скачок напряжения составил 16 МПа, при давлении 15–39 МПа. Данные расчеты проводились при утонении оболочки в допустимых пределах и без учета коррозии металла, но даже такие повышения напряжения следует учитывать при принятии решений;

- коррозионное разрушение значительно увеличивает напряжения, возникающие в стенке. При давлении 6 МПа и утонении равном 15 % от общей площади поверхности напряжение составляет 105 МПа, при наличии коррозии 125 МПа скачок составил 25 МПа. При давлении 15 МПа и утонении 90 % напряжение вырастает на 48 МПа, наличие коррозии способствует скачку напряжения до 30 %.

## **Выводы**

Представленные исследования проведены с целью определения влияния неоднородности толщины стенки цилиндрической оболочки в пределах ГОСТ. Даже при введении в эксплуатацию нового оборудования необходимо учитывать существующие отклонения, так как при высоких давлениях это ведет к значительному скачку напряжения. В случае наличия коррозионного воздействия сроком 5 лет и со скоростью коррозии 0,1 мм в год, напряжение может повыситься на 30 %.

## Список использованных источников

1. Лебедева М.И., Богданов А.В., Колесников Ю.Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности. 2013. № 4 (50). С. 9. URL: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2013-4/2013-4.html> (дата обращения: 05.11.2020).
2. Абдрахманова К.Н., Шабанова В.В., Федосов А.В., Абдрахманов Н.Х. Применение моделирования процесса развития аварии и оценка риска в целях обеспечения безопасной эксплуатации объектов нефтегазового комплекса // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 2. С. 2-13. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-2-2-13.
3. Лисанов М.В. Анализ риска в управлении промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазового комплекса: дис. ... д-ра техн. наук. М.: Изд-во ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. 247 с.
4. Мартынюк В.Ф., Красных Б.А. Принципы деятельности Госгортехнадзора России по предупреждению опасных ситуаций // Безопасность труда в промышленности. 1998. № 7. С. 50-51.
5. Абдрахманова К.Н., Дягилев И.А., Абдрахманов Н.Х., Шайбаков Р.А. Проблемы защиты от коррозии при эксплуатации трубопроводных систем и оборудования нефтегазовой отрасли // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 3. С. 39-46. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-3-39-46.
6. Виноградов С.Н., Ширина Е.В., Мещеряков А.С. Влияние различных факторов на коррозию оборудования в нефтегазовой промышленности // Защита и специальные покрытия, обработка поверхности в машиностроении и приборостроении: сб. ст. V Всеросс. науч.-практ. конф. Пенза: Изд-во «Приволжский Дом знаний», 2008. С. 7-9.

7. Виноградов С.Н., Лысенко К.Н. Коррозия технологического оборудования в дегазирующих растворах отравляющих веществ // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2009. № 3 (11). С. 171-181.

8. Abdrakhmanova K.N. Possibilities of an Object Digital Twin Application in Order to Extend and Predict Safe Operation Resource // Materials of the International University Science Forum. Toronto, Canada. 2020. P. 182-186.

9. Chen X., Fang S., Chen H. Stress Concentration Factor and Fatigue Analysis of a Lateral Nozzle with Local Wall Thinning // Engineering Failure Analysis. 2019. Vol. 105. P. 289-304. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.07.004.

10. Тарасов Ю.Л., Хвесьюк О.В. Оценка сроков службы трубопроводов с учетом коррозионных повреждений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-2. С. 536-541.

11. Абдрахманова К.Н., Федосова А.В., Идрисова К.Р., Даниева И.Р., Валеева Р.Р. Обзор современных программных комплексов и концепции цифрового двойника для прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2020. № 3. С. 71-92. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3\\_2020/ogbus\\_3\\_2020\\_p71-91.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3_2020/ogbus_3_2020_p71-91.pdf) (дата обращения: 07.11.2020). DOI: 10.17122/ogbus-2020-3-71-91.

12. Abdrakhmanova K.N., Fedosov A.V., Idrisov I.R., Danieva I.R., Valeeva R.R. Review of Modern Software Complexes and Digital Twin Concept for Forecasting Emergency Situations in Oil and Gas Industry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. P. 032078. DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032078.

## References

1. Lebedeva M.I., Bogdanov A.V., Kolesnikov Yu.Yu. Analiticheskie obzory statistiki po opasnym sobytiyam na ob"ektakh na ob"ektakh neftepererabatyvayushchei i neftekhimicheskoi promyshlennosti [Analytical Review Statistics for Dangerous Event at the Facilities of Refining and Petrochemical Industry]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti – Technology of Technosphere Safety*, 2013, No. 4 (50), pp. 9. Available at: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2013-4/2013-4.html> (accessed 05.11.2020). [in Russian].
2. Abdrakhmanova K.N., Shabanova V.V., Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh. Primenenie modelirovaniya protsessa razvitiya avarii i otsenka riska v tselyakh obespecheniya bezopasnoi ekspluatatsii ob"ektov neftegazovogo kompleksa [Application of Emergency Process Development Modeling and Risk Assessment to Ensure Safe Operation of Oil and Gas Industrial Facilities]. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnykh sistem – Safety of Technogenic and Natural Systems*, 2020, No. 2, pp. 2-13. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-2-2-13. [in Russian].
3. Lisanov M.V. *Analiz riska v upravlenii promyshlennoi bezopasnost'yu opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov neftegazovogo kompleksa: dis. d-ra tekhn. nauk* [Risk Analysis in Industrial Safety by the Hazard of Production Facilities of the Oil and Gas Complex: Doct. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, GUP «NTTs «Promyshlennaya bezopasnost'» Publ., 2002. 247 p. [in Russian].
4. Martynyuk V.F., Krasnykh B.A. Printsipy deyatel'nosti Gosgortekhnadzora Rossii po preduprezhdeniyu opasnykh situatsii [Principles of Activity of Gosgortekhnadzor of Russia to Prevent Dangerous Situations]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Occupational Safety in Industry*, 1998, No. 7, pp. 50-51. [in Russian].

5. Abdrakhmanova K.N., Dyagilev I.A., Abdramkhmanov N.Kh., Shaibakov R.A. Problemy zashchity ot korrozii pri ekspluatatsii truboprovodnykh sistem i oborudovaniya neftegazovoi otrasli [Problems of Corrosion Protection during Safe Operation of Pipeline Systems and Equipment of Oil and Gas Industry]. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnnykh sistem – Safety of Technogenic and Natural Systems*, 2020, No. 3, pp. 39-46. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-3-39-46. [in Russian].

6. Vinogradov S.N., Shirina E.V., Meshcheryakov A.S. Vliyanie razlichnykh faktorov na korroziyu oborudovaniya v neftegazovoi promyshlennosti [Influence of Various Factors on Equipment Corrosion in the Oil and Gas Industry]. *Sbornik statei V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zashchita i spetsial'nye pokrytiya, obrabotka poverkhnosti v mashinostroenii i priborostroenii»* [Collection of Articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conference «Protection and Special Coatings, Surface Treatment in Mechanical Engineering and Instrumentation»]. Penza, «Privolzhskii Dom znaniy» Publ., 2008, pp. 7-9. [in Russian].

7. Vinogradov S.N., Lysenko K.N. Korroziya tekhnologicheskogo oborudovaniya v degaziruyushchikh rastvorakh otravlyayushchikh veshchestv [Corrosion of Technological Equipment in Degassing Solutions of Toxic Substances]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki – University Proceedings. Volga Region. Technical Sciences*, 2009, No. 3 (11), pp. 171-181. [in Russian].

8. Abdrakhmanova K.N. Possibilities of an Object Digital Twin Application in Order to Extend and Predict Safe Operation Resource. *Materials of the International University Science Forum*. Toronto, Canada, 2020, pp. 182-186.

9. Chen X., Fang S., Chen H. Stress Concentration Factor and Fatigue Analysis of a Lateral Nozzle with Local Wall Thinning. *Engineering Failure Analysis*, 2019, Vol. 105, pp. 289-304. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.07.004.



10. Tarasov Yu.L., Khvesyuk O.V. Otsenka srokov sluzhby truboprovodov s uchetom korrozionnykh povrezhdenii [Estimation of Pipelines Life Expectancy with Account the Corrosion Defects]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2010, Vol. 12, No. 1-2, pp. 536-541. [in Russian].

11. Abdrakhmanova K.N., Fedosov A.V., Idrisova K.R., Danieva I.R., Valeeva R.R. Obzor sovremennykh programmnykh kompleksov i kontseptsii tsifrovogo dvoynika dlya prognozirovaniya avariinykh situatsii na ob"ektakh neftegazovoi otrasli [Review of Modern Software Complexes and Digital Twin Concept for Forecasting Emergency Situations in Oil and Gas Industry]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Online Edition «Oil and Gas Business»*, 2020, No. 3, pp. 71-92. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3\\_2020/ogbus\\_3\\_2020\\_p71-91.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3_2020/ogbus_3_2020_p71-91.pdf) (accessed 07.11.2020). DOI: 10.17122/ogbus-2020-3-71-91. [in Russian].

12. Abdrakhmanova K.N., Fedosov A.V., Idrisov I.R., Danieva I.R., Valeeva R.R. Review of Modern Software Complexes and Digital Twin Concept for Forecasting Emergency Situations in Oil and Gas Industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 862, pp. 032078. DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032078.



## Сведения об авторах

### About the authors

Абдрахманова Карина Наилевна, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Karina N. Abdrakhmanova, Post-graduate Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: akarinan@mail.ru

Ярмонов Евгений Васильевич, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Evgenii V. Yarmonov, Under-graduate Student of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: feniks-97@bk.ru

Кулаков Петр Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Petr A. Kulakova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: kulakov.p.a@mail.ru

Тляшева Резеда Рафисовна, д-р техн. наук, декан механического факультета, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rezeda R. Tlyasheva, Doctor of Engineering Sciences, Dean of Mechanical Faculty, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rezedat@gmail.com