

УДК 678(07)

**ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОЛИМОЧЕВИНЫ
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ И БЕТОНА**

**THE COATING EFFECT OF POLYUREA
ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL
AND CONCRETE**

Пивоваров В.Ю., Исламова А.В.

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

V.Yu. Pivovarov, A.V. Islamova

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: varga-13@yandex.ru

Аннотация. Большинство объектов нефтегазовой отрасли в основном включают в себя бетонные или стальные конструкции. Сталь является химически активным материалом, поэтому при контакте с агрессивными средами она подвергается самопроизвольному разрушению посредством коррозии. Кроме того, стальные конструкции могут подвергаться высоким нагрузкам (внутреннее избыточное давление, изгибающий момент), что может привести к разрушению конструкции и последующей аварии. Бетонные конструкции склонны к растрескиванию при больших осевых нагрузках или при пропитывании нефтью либо нефтепродуктами.

В настоящее время существуют различные методы защиты нефтегазового оборудования от коррозии (изолирующие, металлизационные, комбинированные покрытия). Данная работа была

посвящена изолирующему покрытию – полимочевине, обладающей целым рядом уникальных свойств.

Покрытия из полимочевины способны защищать материал даже при контакте с агрессивными средами, сохраняя свои физические свойства на протяжении всего срока эксплуатации. Кроме того, такие покрытия являются пожаробезопасными вследствие самозатухания полимочевины.

В работе исследовались изменения физико-механических свойств стальных и бетонных образцов при покрытии полимочевинной. Стальные образцы подвергались испытаниям на статическое растяжение, а бетонные – на сжатие с изучением адгезионных свойств покрытия.

Результаты испытаний показали увеличение предела прочности при растяжении стальных образцов до 40 МПа при нанесении покрытия из полимочевины. Испытания бетонных образцов с аналогичным покрытием показали увеличение предела прочности при сжатии в 1,5 раза (с 12,2 до 18,7 МПа), при этом прочность сцепления составила 1,2 МПа.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о повышении прочности стальных и бетонных конструкций с покрытиями из полимочевины, что позволяет рекомендовать данные покрытия к применению на объектах нефтегазовой отрасли. Тем самым уникальные свойства полимочевины способны уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли и повысить безопасность деятельности человека.

Abstract. Most of the oil and gas production facilities mainly include concrete or steel structures. Steel is a chemically active material, so when exposed to corrosive media it is spontaneously destroyed by corrosion. In addition, steel structures can be exposed to high loadings (internal overpressure, bending moment), that can be the cause of structural failure and subsequent accident. Concrete structures are prone to cracking with large axial loads or when impregnated with oil or oil products.

Currently, there are various methods of protecting oil and gas equipment from corrosion (insulating, metallization, combined coatings). This work was devoted to an insulating coating - polyurea, which has a number of unique properties.

Polyurea coatings are able to protect the material even in contact with corrosive media, preserving its physical properties throughout the life of the product. In addition, such coatings are fireproof due to self-extinction of polyurea.

The authors investigated changes in physical and mechanical properties of steel and concrete samples when coating with polyurea. Steel samples were subjected to static tensile tests, and concrete ones to compression tests, to study the adhesion properties of the coating.

The test results showed an increase in tensile strength of steel samples up to 40 MPa when coating with polyurea. Tests of concrete samples with a similar coating showed an increase in the compression strength by 1.5 times (from 12.2 to 18.7 MPa), while the adhesion strength was 1.2 MPa.

Based on the results, a coating of polyurea increases the strength of steel and concrete structures, which allows us to recommend these coatings for use in the oil and gas industry. Thus, the unique properties of polyurea can reduce the risk of emergency situations at oil and gas industry and to improve the safety of human activities.

Ключевые слова: стальные конструкции, бетонные конструкции, коррозия, разрушение, защитные покрытия, полимочевина, испытания на прочность, снижение аварийности, безопасность жизнедеятельности.

Key words: steel structures, concrete structures, corrosion, destruction, protective coatings, polyurea, strength tests, reduction of accidents, health and safety.

Нефтегазовая промышленность – ведущая отрасль российской промышленности, включающая в себя добычу и переработку нефти и газа, а также производство, транспортировку и сбыт нефтепродуктов. С целью безопасного проведения процессов этой отрасли требуется обеспечивать эксплуатацию оборудования и технических сооружений в диапазоне допустимых напряжений и не допускать разрушение материала под действием коррозионного износа.

На сегодняшний день основным конструкционным материалом, применяемым в нефтегазовой отрасли, являются стали различных марок. Многообразие свойств сталей, таких как прочность и пластичность, высокая теплопроводность, хорошая обрабатываемость давлением и свариваемость, обеспечивают им универсальное применение в качестве конструкционных материалов. Металлы, как правило, химически активны и при контакте с природной внешней средой или с технологическими средами подвергаются самопроизвольному разрушению – коррозии.

Статистика показывает, что большое количество аварий на объектах нефтегазовой промышленности происходит за счет коррозионного разрушения оборудования, что приводит в лучшем случае к разливу нефтепродуктов и загрязнению атмосферы и водоемов, а в худшем – к пожарам или взрывам со смертельным исходом [1-5].

Промысловое и заводское оборудование нефтяной промышленности (вертикальные резервуары, насосные и компрессорные установки и др.) требуют в качестве основания бетонный фундамент, который имеет способность к растрескиванию не только от больших сжимающих нагрузок, но и от пропитывания нефтью или нефтепродуктами [6-8]. Указанный факт также может служить причиной аварийной ситуации, поэтому контроль качества бетона является важным моментом при обеспечении промышленной безопасности объектов нефтегазовой отрасли.

В настоящее время существуют различные способы защиты металлов от коррозии. Самыми распространенными видами и методами антикоррозионной защиты нефтегазового оборудования являются [9]:

- применение изолирующих покрытий (окраска лакокрасочными материалами или газотермическое напыление коррозионностойких сплавов и сталей);
- протекторная антикоррозионная защита (использование протектора – электроотрицательного металла, который наносят на защищаемую металлоконструкцию);
- антикоррозионные металлизационные покрытия (напыление алюминием и другими металлами).
- антикоррозионные комбинированные покрытия.

В данной работе рассмотрены изолирующие покрытия, в частности, полимочевина, в последние годы набирающая популярность за рубежом. Полимочевина – современное изоляционное покрытие, обладающее целым рядом уникальных свойств, которые смогли сделать этот материал самым перспективным среди сегодняшних эластомеров. Впервые полимочевина была получена специалистами компании «Техасо Chemical» в 1989 г.

Полимочевина является продуктом реакции полиола и изоцианата, протекающей при их смешении в специальном оборудовании под давлением 15-20 МПа и при температуре 60-80 °С. Покрытия из полимочевины сохраняют свои физические свойства на протяжении всего срока эксплуатации, даже находясь в контакте с агрессивными средами: нефтепродуктами, щелочами, разбавленными кислотами и различными растворителями. Важным свойством полимочевины является её способность к самозатуханию, что позволяет отнести покрытия из полимочевины к пожаробезопасным покрытиям.

Особое внимание к покрытиям из полимочевины привлекают следующие их свойства:

- высокая твёрдость, прочность, гибкость и эластичность;

- время отверждения – 20 с;
- покрытия из полимочевины имеют отличную сопротивляемость истиранию;
- срок службы покрытия из полимочевины – до 50 лет;
- высокая адгезия к поверхности (металл, бетон);
- низкая паропроницаемость;
- биологическая и химическая стойкость;
- пожаробезопасность;
- нетоксичность. Не происходит выделение летучих органических соединений. Полимоочевина является полимером с 100 % содержанием твердой фазы, отличаясь этим от большинства полимерных покрытий, в которых содержится определенная доля органических растворителей, что приводит к токсичности и огнеопасности;
- экологическая безопасность. В своем составе не содержит канцерогенные добавки, в числе которых каменноугольные смолы и дегти. Благодаря этому полимочевинные покрытия могут применяться в сферах пищевой промышленности и водоснабжения;
- максимальная рабочая температура от минус 50 до + 250 °С.

Вышеуказанные свойства позволяют рассматривать широкое применение полимочевины для защиты различного нефтегазового оборудования от коррозии, а также для сопутствующего повышения прочности и пожаробезопасности стальных и бетонных конструкций.

В данной работе рассмотрены исследования по изменению физико-механических свойств стальных и бетонных образцов при нанесении на них покрытия из полимочевины. Исследования образцов проводились на прочность и адгезионные свойства. В качестве материала для металлических образцов были использованы две пластины 25 x 25 мм, изготовленные из стали Ст3 (рисунок 1). Пластины были покрыты слоем

полиуретана толщиной 2 мм, причем одна из пластин была покрыта с одной стороны, вторая пластина – с двух сторон.

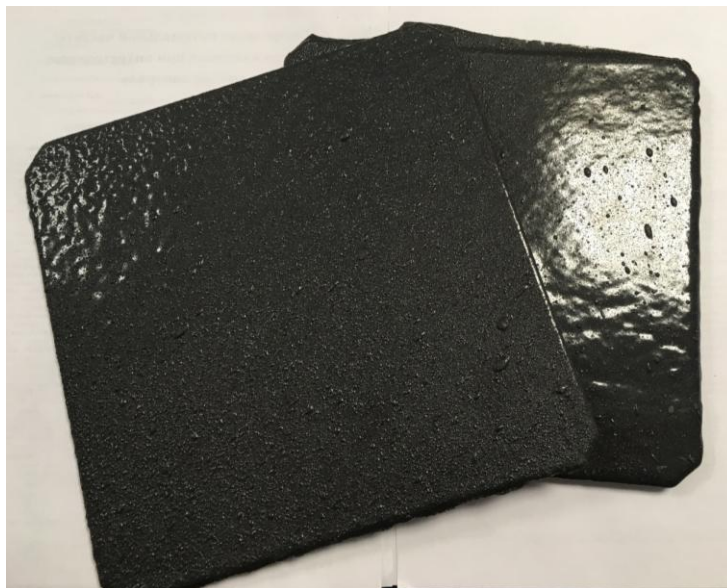


Рисунок 1. Пластины из стали Ст3, покрытые полиуретаном

Из данных пластин были изготовлены образцы для растяжения в соответствии с ГОСТ 1497-84 [10], которые как и исходные образцы без покрытия были подвергнуты статическому растяжению при постоянной скорости, равной 0,5 мм/мин. Для деформирования образцов статическим нагружением был использован динамометрический стенд Instron 8801, представленный на рисунке 2.

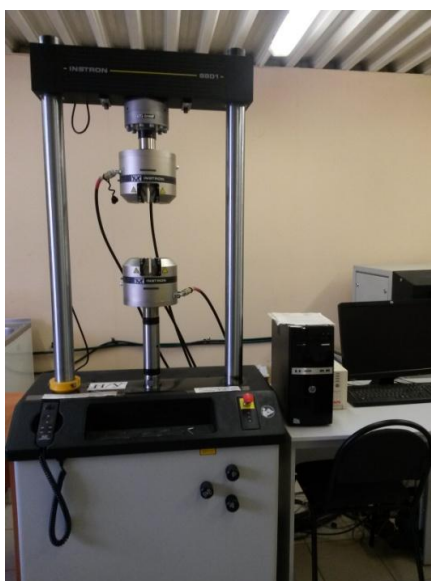


Рисунок 2. Общий вид динамометрического стенда Instron 8801

Бетонные образцы (рисунок 3) были изготовлены из марки бетона М150 и полностью покрыты слоем полимочевины такой же толщины, что и покрытие стальных образцов. Для полученных образцов были проведены испытания на прочность при сжатии и испытания на адгезионную прочность покрытия. Аналогичное испытание на прочность при сжатии проводилось и для образца без покрытия с целью сравнения полученных результатов.



Рисунок 3. Бетонные образцы, покрытые полимочевиной

Определение прочности образцов на сжатие проводили на гидравлическом прессе П-125, измерение прочности сцепления покрытия на приборе ПСО-1МГ4 (рисунок 4).

Важно отметить, что каждый тип образца (стальной без покрытия, стальной с одно- и двусторонним покрытием, бетонный с покрытием и без него) был изготовлен в количестве трех штук. Соответственно, по полученным значениям исследуемых параметров трех образцов одного типа, были посчитаны средние значения, которые представлены в таблицах 1 и 2.



Рисунок 4. Пресс гидравлический П-125 (слева) и измеритель прочности адгезии ПСО-1МГ4 (справа)

Таблица 1. Результаты проведенных испытаний стальных образцов

Тип образца	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа
Без покрытия	412,6
Одностороннее покрытие	441,2
Двустороннее покрытие	452,7

Таблица 2. Результаты проведенных испытаний бетонных образцов

Тип образца	Предел прочности при сжатии σ_B , МПа	Прочность адгезии покрытия, МПа
Без покрытия	12,2	-
С покрытием	18,7	1,2

Результаты испытаний показали увеличение предела прочности стальных образцов при растяжении почти на 30 МПа для одностороннего покрытия и на 40 МПа для двустороннего покрытия. Испытания бетонных образцов, покрытых полимочевиной, показали увеличение предела прочности при сжатии в 1,5 раза (с 12,2 до 18,7 МПа), при этом прочность сцепления составила 1,2 МПа.

Увеличение предела прочности стальных и бетонных образцов при нанесении на них полимочевины объясняется пластичными свойствами данного покрытия. Слой полимочевины выступает в роли демпфера, т.е.

поглощает часть энергии разрушения образца, вследствие чего трещина в образце зарождается позже, чем в образце без покрытия, и соответственно разрушение происходит при больших значениях напряжений.

Полученные результаты наряду с уникальными свойствами полимочевины позволяют рекомендовать данные технологии с целью повышения прочности и пожаробезопасности стальных и бетонных конструкций, а также с целью защиты от коррозии и негативного воздействия технологических сред.

Таким образом, покрытия из полимочевины помогают уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли и повысить безопасность деятельности человека.

Исследования выполнялись при содействии Межвузовского центра коллективного пользования «Региональный научно-производственный комплекс «Недра»» Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Список используемых источников

1. Уроки, извлеченные из аварий 2014 г. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2014%20год> (дата обращения: 23.02.2018).

2. Уроки, извлеченные из аварий 2015 г. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2015%20год> (дата обращения: 23.02.2018).

3. Уроки, извлеченные из аварий 2016 г. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2016%20год> (дата обращения: 23.02.2018).

4. Уроки, извлеченные из аварий 2017 г. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2017%20год> (дата обращения: 23.02.2018).

5. Гумеров А.К., Шмаков А.К., Хайрутдинова Ф.Ш. Механизмы разрушения магистральных трубопроводов с приварными элементами // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. № 1. URL: http://ogbus.ru/authors/GumerovAK/GumerovAK_1.pdf.

6. Васильев Н.М. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона // Бетон и железобетон. 1981. № 3. С. 36-37.

7. Улыбин А.В. Изменение прочности промасленного бетона эксплуатируемых конструкций // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 45-48.

8. Сергеевцев Е.Ю., Ахмадуллин Р.Р., Фархетдинов И.Р. Прочность бетона фундаментов насосных агрегатов при пропитке их маслами и нефтью // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 5. С. 191-205. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2017/ogbus_5_2017_p191-205_SergeevtsevEYu_ru.pdf.

9. Мустафин Ф.М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2003. № 1. URL: http://ogbus.ru/authors/Mustafin/Mustafin_3.pdf.

10. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. URL: http://standartgost.ru/g/ГОСТ_1497-84 (дата обращения 16.01.2018).

References

1. *Uroki, izvlechennye iz avarii 2014 g. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Lessons from the Accidents of 2014. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2014%20god> (accessed 23.02.2018). [In Russian].

2. *Uroki, izvlechennye iz avarii 2015 g. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Lessons from the Accidents of 2015. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2015%20god> (accessed 23.02.2018). [In Russian].

3. *Uroki, izvlechennye iz avarii 2016 g. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Lessons from the Accidents of 2016. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2016%20god> (accessed 23.02.2018). [In Russian].

4. *Uroki, izvlechennye iz avarii 2017 g. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Lessons from the Accidents of 2017. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2017%20god> (accessed 23.02.2018). [In Russian].

5. Gumerov A.K., Shmakov A.K., Khairutdinova F.Sh. *Mekhanizmy razrusheniya magistral'nykh truboprovodov s privarnymi elementami* [Mechanisms of Destruction of Main Pipelines with Welded Elements]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2007, No. 1. URL: http://ogbus.ru/authors/GumerovAK/GumerovAK_1.pdf. [In Russian].

6. Vasil'ev N.M. *Vliyanie nefteproduktov na prochnost' betona* [The Influence of Oil Products on the Strength of Concrete]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and Reinforced Concrete*, 1981, No. 3, pp. 36-37. [In Russian].

7. Ulybin A.V. Izmenenie prochnosti promaslennogo betona ekspluatiruemykh konstruksii [Change in the strength of oiled concrete of operated structures]. *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obsledovanie zdaniy i sooruzhenii: problemy i puti ikh resheniya»* [Materials of VII International Scientific and Practical Conference «Survey of Buildings and Structures: Problems and Solutions»]. Saint-Petersburg, 2017, pp. 45-48. [In Russian].

8. Sergeevtsev E.Yu., Akhmadullin R.R., Farkhetdinov I.R. Prochnost' betona fundamentov nasosnykh agregatov pri propitke ikh maslami i neft'yu [The Strength of Concrete Foundations, Pumping Units in the Impregnation of Their Oils and Oil]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2017, No. 5, pp. 191-205. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2017/ogbus_5_2017_p191-205_SergeevtsevEYu_ru.pdf. [In Russian].

9. Mustafin F.M. Obzor metodov zashchity truboprovodov ot korrozii izolyatsionnymi pokrytiyami [Review of Methods for Protecting Pipelines from Corrosion by Insulating Coatings]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2003, No. 1. URL: http://ogbus.ru/authors/Mustafin/Mustafin_3.pdf. [In Russian].

10. *GOST 1497-84. Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie* [State Standard 1497-84. Metals. Methods of Tensile Testing]. URL: http://standartgost.ru/g/GOST_1497-84 (accessed 16.01.2018). [In Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Пивоваров В.Ю., магистрант гр. ММО31-16-01 ФГБОУ ВО «УГНТУ»,
г. Уфа, Российская Федерация

V.Yu. Pivovarov, Undergraduate Student of ММО31-16-01 Group, FSBEI
HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: varga-13@yandex.ru

Исламова А.В., студент гр. БМР-15-01 ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа,
Российская Федерация

A.V. Islamova, Student of BMR-15-01 Group, FSBEI HE «USPTU», Ufa,
Russian Federation

e-mail: alena.islamova.1997@mail.ru