

Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 5. С. 192-197. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2023. Vol. 21. No. 5. P. 192-197. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 620.1

DOI: 10.17122/ngdelo-2023-5-192-197

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТЕКТОРНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Николай Григорьевич Кац, Ильдар Дугласович Ибатуллин,

Светлана Николаевна Парфенова

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Автор, ответственный за переписку

Светлана Николаевна Парфенова, parfenova.samgtu@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения различных протекторных сплавов, выполненных из магния и алюминия, для защиты вертикальных стальных резервуаров при хранении нефти и нефтепродуктов. Показаны характеристики протекторных сплавов, выполненных из магния или алюминия и их сплавов. Приведены данные по скорости саморастворения протекторных сплавов в зависимости от степени минерализации подтоварной воды. Для проведения исследований использовались гравиметрические испытания для расчета массового показателя скорости коррозии и электрохимические с целью расчета коэффициента полезного действия от анодной плотности тока. Показано эмпирическое уравнение, с помощью которого можно рассчитать скорость саморастворения протекторных сплавов, изготовленных из алюминиевых и магниевых сплавов, и даны значения эмпирических коэффициентов для рассмотренного в работе случая использования протекторных сплавов. Полученная эмпирическая зависимость позволит прогнозировать скорость саморастворения алюминиевых и магниевых протекторных сплавов. Проведен анализ коэффициента полезного действия магниевых и алюминиевых протекторных сплавов и показана зависимость коэффициента полезного действия от анодной плотности тока для магниевых и алюминиевых протекторных сплавов. Показана эффективность применения алюминиевых протекторных сплавов для защиты вертикальных стальных резервуаров. Сделан вывод о том, что применение алюминиевых протекторных сплавов более эффективно, так как их коэффициент полезного действия выше, чем магниевых сплавов, это хорошо видно на представленном в работе графике зависимости коэффициента полезного действия от общей минерализации подтоварной воды. Результаты работы можно использовать при проектировании протекторной защиты стальных вертикальных резервуаров, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов, содержащих подтоварную воду различной минерализации.

Ключевые слова

вертикальный стальной резервуар; алюминиевые и магниевые протекторные сплавы; скорость саморастворения; протекторная защита от коррозии; минерализация подтоварных вод

Для цитирования

Кац Н.Г., Ибатуллин И.Д., Парфенова С.Н. Эффективность применения протекторных сплавов для вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 5. С. 192-197. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-5-192-197>.

Original article

EFFICIENCY OF TREAD ALLOYS FOR VERTICAL STEEL TANKS

Nikolai G. Katz, Ildar D. Ibatullin, Svetlana N. Parfenova

Samara state technical university, Samara, Russia

Corresponding author

Svetlana N. Parfenova, parfenova.samgtu@yandex.ru

Abstract. The article discusses the use of various protector alloys made of magnesium and aluminum to protect vertical steel tanks when storing oil and oil products. Characteristics of protector alloys made of magnesium or aluminium and their alloys are shown. Data on the rate of self-dissolution of protector alloys depending on the degree of mineralization of bottom water are given. Gravimetric tests were used to calculate the mass index of the corrosion rate and electrochemical tests were used to calculate the efficiency of the anode current density. An empirical equation is shown by which the self-dissolution rate of protector alloys made of aluminum and magnesium alloys can be calculated, and empirical coefficients are given for the case of using protector alloys considered in the work. The obtained empirical dependence will make it possible to predict the rate of self-dissolution of aluminum and magnesium protector alloys. The efficiency of magnesium and aluminum protector alloys was analyzed and the dependence of the efficiency factor on the anode current density for magnesium and aluminum protector alloys was shown. Shows the effectiveness of using aluminum protector alloys to protect vertical steel tanks. It was concluded that the use of aluminum protector alloys is more efficient, since their efficiency is higher than that of magnesium alloys, this is clearly seen in the graph presented in the work on the dependence of the efficiency on the total mineralization of bottom water. The results of the work can be used in the design of protector protection for vertical steel tanks pre-designated for storage of oil and oil products containing produced water of various salinity.

Keywords

vertical steel tank; aluminum and magnesium protector alloys; rate of self-dissolution; protector protection against corrosion; mineralization of produced water

For citation

Katz N.G., Ibatullin I.D., Parfenova S.N. Effektivnost' primeneniya protekturnykh splavov dlya vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov // [Efficiency of tread alloys for vertical steel tanks] // *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2023, Vol. 21, No. 5. pp. 192-197. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-5-192-197>.

Для хранения нефтей и нефтепродуктов в промышленности используются вертикальные стальные резервуары различной вместимости типа РВС. Вместе с нефтью в резервуаре накапливается подтоварная вода различной минерализации, которая вызывает коррозионное разрушение резервуарной конструкции. Опыт эксплуатации резервуаров [1–12] свидетельствует о том, что с наибольшей скоростью корродирует днище и нижние пояса обечайки резервуара.

Для защиты от коррозии используется множество методов, в частности электрохимические методы: катодная, анодная и протекторная защиты. Наиболее широкое распространение нашла протекторная защита. Протекторная защита имеет ряд преимуществ перед анодной и катодной защитами: простота

конструкции, низкая себестоимость установки и эксплуатации, не требует дополнительных средств контроля и автоматики и т.д.

Известно, что электродный потенциал корпуса и днища вертикального резервуара имеет более электроположительное значение, чем величина электродного потенциала применяемого протекторного сплава. Причем при замыкании искусственной гальванической пары протекторный сплав становится анодом, а защищаемая конструкция — катодом и не поддается коррозионному износу [2–4, 8].

Эффективность протекторной защиты определяется несколькими параметрами: коэффициентом полезного действия, радиусом защитного действия протектора и его саморастворением [2, 5, 8, 10].

Были проведены исследования по определению скорости саморастворения протекторных материалов, изготовленных из алюминиевых сплавов, в зависимости от содержания солей в водном растворе, имитирующей подтоварную воду. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 1.

По результатам эксперимента можно заключить, что скорость саморастворения протекторных сплавов увеличивается с ростом содержания солей в подтоварной воде, причем для магниевых протекторных сплавов скорость саморастворения в два раза выше, чем для алюминиевых [1, 6, 9–12]. Такая зависимость хорошо описывается уравнением вида (1):

$$K = A + B \ln C, \quad (1)$$

где K — скорость саморастворения материала, г/м²·час; C — общая минерализация подтоварной воды, г/л; A и B — эмпирические коэффициенты.

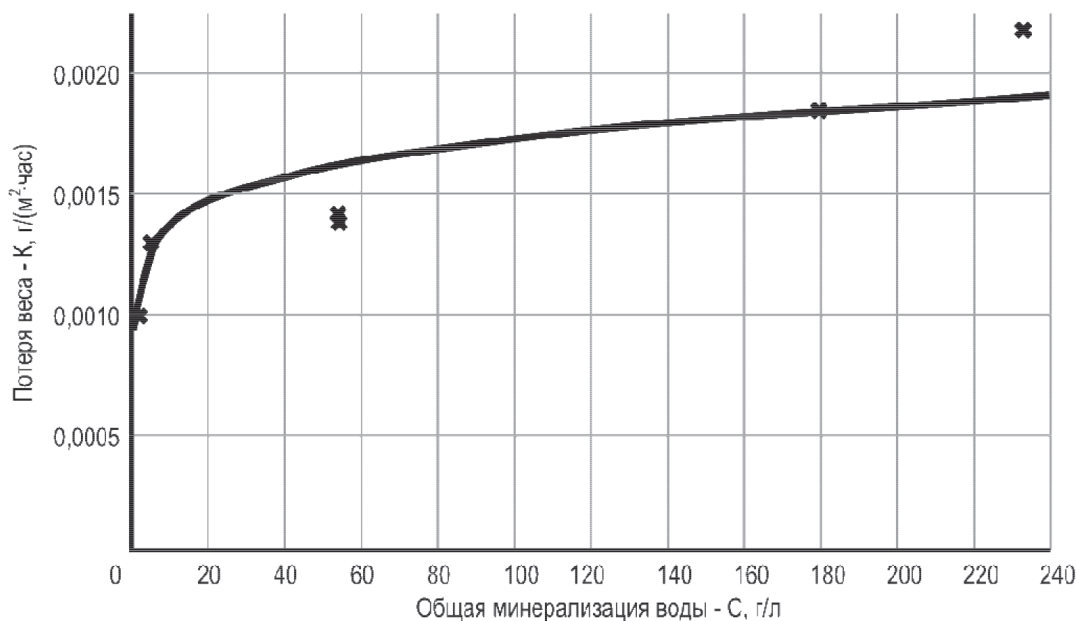
В результате обработки полученных экспериментальных данных для алюминиевых сплавов были найдены значения коэффициентов корреляции $A = 0,000938$ и $B = 0,000168$. Тогда для протекторов, изготовленных из алюминиевых сплавов, уравнение (1) будет иметь следующий вид (2):

$$K = 0,000938 + 0,000168 \ln C. \quad (2)$$

Коэффициент полезного действия (использования) η протектора зависит от фактического расхода материала $\Delta G_{\text{факт}}$, силы тока в цепи протектор — металл I , электрохимического эквивалента материала протектора $\mathcal{E}$, продолжительности его работы τ , т.е. можно записать (3):

$$\eta = 876 \frac{\mathcal{E} \cdot I \cdot \tau}{\Delta G_{\text{факт}}}, \% . \quad (3)$$

Проведены электрохимические исследования протекторных сплавов при анодной плотности тока 1,0 А/м², и рассчитаны значения коэффициента полезного действия в минерализованном растворе с содержанием солей 22,3 г/л. Установлено, что коэффициент полезного действия алюминиевых протекторов равен 0,95 %, а магниевых составляет 0,64 %. Результаты расчетов и проведенного эксперимента представлены на рисунке 2. Из представленных данных видно, что коэффициент полезного действия протекторов уменьшается с увеличением степени минерализации подтоварных вод, что связано с увеличением скорости саморастворения протекторных сплавов [1, 3, 7, 10].



X — экспериментальные данные

X — experimental data

Рисунок 1. Скорость саморастворения алюминиевого протекторного сплава от содержания солей в подтоварной воде

Figure 1. The rate of self-dissolution of the aluminum tread alloy from the salt content in the bottom water

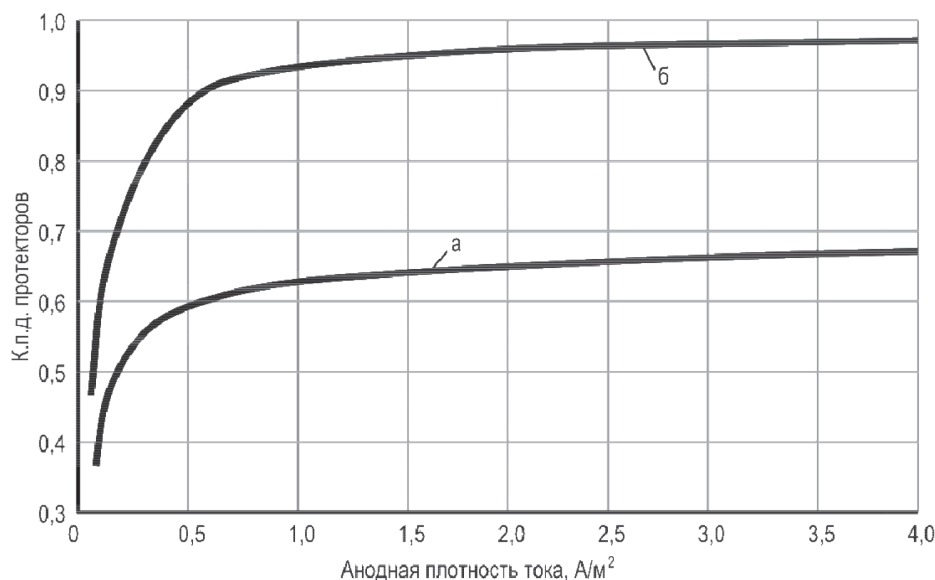


Рисунок 2. Коэффициент полезного действия магниевых (а) и алюминиевых (б) протекторных сплавов от анодной плотности тока

Figure 2. Efficiency of magnesium (a) and aluminum (b) protector alloys from anode current density

Выводы

1. Проведен анализ электрохимических и гравиметрических исследований магниевых и алюминиевых протекторных сплавов, в результате которого установлены параметры защиты стальных резервуаров.

2. Выявлено, что скорость саморастворения протекторных сплавов возрастает с ростом концентрации солей в подтоварной воде

и доказана их неэффективность контакта с металлической подложкой.

3. Проведен анализ гравиметрических измерений с целью определения эффективности применения протекторных сплавов и получено уравнение, позволяющее прогнозировать скорость саморастворения протекторов.

4. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании протекторной защиты стальных резервуаров.

СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кац Н.Г., Васильев С.В. Эффективность протекторных сплавов // Современное общество, образование и наука: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. / Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2014. Ч. 6. С. 53-54.

2. Кац Н.Г., Васильев С.В. Опыт эксплуатации протекторов для защиты нефтяных резервуаров, изготавливаемых из вторичных алюминиевых сплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2014 № 4 (44). С. 170-176.

3. Кац Н.Г., Живаева В.В., Парфенова С.Н. Протекторная защита вертикальных резервуаров // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2021. № 11 (347). С. 61-64. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-11(347)-61-64.

4. Кац Н.Г. Электроотрицательные материалы как жертвенные аноды при электрохимической защите // Ашировские чтения: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. В.В. Живаева. Самара: СамГТУ, 2019. С. 353-360.

5. Кац Н.Г., Лесухин С.П. Поведение алюминиевого сплава в агрессивной среде // Ашировские чтения. Сб. трудов Междунар. науч.-практ. конференции / Отв. ред. В.В. Живаева. Самара: СамГТУ, 2019. С. 346-347.

6. Кац Н.Г. Химический анализ продуктов коррозионного разрушения протекторного магниевых сплава // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2018. № 1(57). С. 173-176.

7. Кац Н.Г., Коноваленко Д.В., Васильев С.В. Анализ разрушений магниевых протекторных сплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2015. № 4 (48). С. 130-134.

8. Кац Н.Г., Васильев С.В. Радиус защитного действия протекторных сплавов // Современное общество, образование и наука: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. / Тамбов: 2014. Ч. 6.

9. Кац Н.Г., Васильев С.В., Каменсков А.А. Свойства подтоварных вод и коэффициент полезного действия протекторных сплавов // Ашировские чтения: сб. тр.

Х междунар. науч.-практ. конф. / Туапсе, Самара, 2013. С. 133-135.

10. Кац Н.Г., Васильев С.В., Парфенова С.Н., Живаева В.В., Доровских И.В. Контролирующий фактор коррозионного процесса и коэффициент полезного действия протекторных сплавов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 4. С. 38-41.

11. Васильев С.В., Кац Н.Г., Парфенова С.Н., Живаева В.В., Доровских И.В. Общая характеристика и свойства подтоварных вод // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. ВНИИОЭНГ. 2011. № 12. С. 41-42.

12. Бестужевский М.В., Стариков В.П., Кац Н.Г., Лесухин С.П., Живаева В.В., Доровских И.В. Исследование влияния химического состава вторичных алюминевых сплавов на эффективность их работы в качестве протекторов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. ВНИИОЭНГ. 2010. № 5. С. 24-27.

REFERENCES

1. Katz N.G., Vasiliev S.V. Efficiency of Protector Alloys [Effektivnost' Protektornykh Splavov] *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennoe obshchestvo, obrazovanie i nauka»* [Collection of works of the International Scientific and Practical Conference «Modern Society, Education and Science»]. Tambov: Consulting company Yukom Publ., 2014. Part 6. pp. 53-54. [in Russian].

2. Katz N.G., Vasiliev S.V. Opyat ekspluatatsii protektorov dlya zashchity neftyanykh rezervuarov, izgotavlivaemykh iz vtorichnykh alyuminievykh splavov [Opyat Operation of Protectors to Protect Oil Tanks Made of Secondary Aluminum Alloys]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki — Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*, 2014, No. 4 (44), pp. 170-176. [in Russian].

3. Katz N.G., Zhivaeva V.V., Parfenova S.N. Protektornaya zashchita vertikal'nykh rezervuarov [Protector Protection of Vertical Tanks]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more — Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2021, No. 11 (347), pp. 61-64. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-11(347)-61-64. [in Russian].

4. Katz N.G. Elektrootricatel'nye materialy kak zheretvennye anody pri elektrohimiche-skoj zashchite [Electronegative Materials as Sacrificial Anodes in Electrochemical Protection]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ashirovskie chteniya»* [Collection of works of the International Scientific and Practical Conference «Ashirov Readings»]. Managing Ed. V.V. Zhivaeva. Samara, SamGTU Publ., 2019, pp. 353-360. [in Russian].

5. Katz N.G., Lesukhin S.P. Povedenie alyuminieвого сплава v agressivnoy srede [Behavior of Aluminum Alloy in Aggressive Environment] *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ashirovskie chteniya»* [Collection of works of the International Scientific and

Practical Conference «Ashirov Readings»]. Managing Ed. V.V. Zhivaeva. Samara, SamGTU Publ., 2019, pp. 346-347. [in Russian].

6. Katz N.G. Himicheskij analiz produktov korrozionnogo razrusheniya protektornogo magnieвого сплава [Chemical Analysis of Products of Corrosion Destruction of Leakage-Toric Magnesium Alloy]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekh-nicheskie nauki — Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*, 2018, No. 1 (57). pp. 173-176. [in Russian].

7. Katz N.G., Konovalenko DV, Vasiliev S.V. Analiz razrushenij magnievykh protektornykh splavov [Analysis of The Destruction of Magnesium Protector Alloys]. *Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences — Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*, 2015, No. 4 (48), pp. 130-134. [in Russian].

8. Katz N.G., Vasiliev S.V. Radius zashchitnogo dejstviya protektornykh splavov [Radius of Protective Action of Protector Alloys]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennoe obshchestvo, obrazovanie i nauka»* [Collection of works of the International Scientific and Practical Conference «Modern Society, Education and Science»]. Tambov: 2014. Part 6. [in Russian].

9. Katz N.G., Vasiliev S.V., Kamenskov A.A. Svoystva podtovarnykh vod i koefficient poleznogo dejstviya protektornykh splavov [Properties of Produced Water and Efficiency Factor of Protector Alloys]. *Sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ashirovskie chteniya»* [Collection of Works of the X International Scientific and Practical Conference «Ashirov Readings»]. Tuapse, Samara, 2013. pp. 133-135. [in Russian].

10. Katz N.G., Vasiliev S.V., Parfenova S.N., Zhivaeva V.V., Dorovskikh I.V. Kontroliruyushchij faktor korrozionnogo processa i koefficient poleznogo dejstviya protektornykh splavov [Controlling Factor of Corrosion Process and Efficiency of Protector Alloys]. *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse — Protection of The Environment in the Oil and Gas Complex*, 2013, No. 4, pp. 38-41. [in Russian].

11. Vasiliev S.V., Katz N.G., Parfenova S.N., Zhivaeva V.V., Dorovskikh I.V. Obshchaya harakteristika i svoystva podtovarnykh vod [General characteristics and properties of produced waters]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. VNIIOENG — Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea. VNIIOENG*, 2011, No. 12, pp. 41-42. [in Russian].

12. Bestuzhevsky M.V., Starikov V.P., Katz N.G., Lesukhin S.P., Zhivaeva V.V., Dorovskikh I.V. Issledovanie vliyaniya himicheskogo sostava vtorichnykh alyuminievykh splavov na effektivnost' ih raboty v kachestve protektorov [Study of the Influence of the Chemical Composition of Secondary Aluminum Alloys on the Efficiency of Their Work as Protectors]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. VNIIOENG — Construction of oil and gas wells on land and at sea. VNIIOENG*, 2010, No. 5, pp. 24-27. [in Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николай Григорьевич Кац, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств», Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Nikolay G. Katz, candidate of technical sciences, associate professor, Oil and gas and chemical production machinery and equipment department, Samara state technical university, Samara, Russia

Ильдар Дугласович Ибатуллин доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств», Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Ildar D. Ibatullin, doctor of technical sciences, professor, head of the Oil and gas and chemical production machinery and equipment department, Samara state technical university, Samara, Russia

Светлана Николаевна Парфенова, кандидат химических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств», Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Svetlana N. Parfenova, candidate of chemical sciences, associate professor, Oil and gas and chemical production machinery and equipment department, Samara state technical university, Samara, Russia

parfenova.samgtu@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 02.09.2023; одобрена после рецензирования 23.09.2023; принята к публикации 30.09.2023.

The article was submitted 02.09.2023; approved after reviewing 23.09.2023; accepted for publication 30.09.2023.