

- vosstanavlivaemyh sistem na etape prirabotki. Mezhvuz. sb. nauch. tr. Vyp. 2. – Penza: Penz. politekhn. in-t, 1990. – 132 s.: 31 il., 2 tabl., bibliogr. 93 nazv.
13. Reshetov D.N., Ivanov S.A., Fadeev V.Z. Nadezhnost' mashin – M.: Vysshaya shkola, 1988. – 238s.
14. Pronikov A.S. Nadezhnost' mashin – M.: Mashinostroenie, 1978. – 592 s.
15. SHubin R.A. Nadyozhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk: uchebnoe posobie / R.A. SHubin. – Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012.
16. Internet-resurs: Osnovnye faktory eks-pluatacionnoj nadezhnosti moshchnyh peredayushchih usta-novok. URL: <http://engjournal.ru/articles/1148/1148.pdf> (data obrashcheniya 28.11.2019)

УДК 620.197.5

DOI: 10.34046/aumsuomt93/21

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

В. М. Ву, аспирант

Б. Б. Чернов, доктор химических наук, профессор

А. М. Нугманов, научный сотрудник

Приведена оценка экономической эффективности использования солнечных панелей для катодной защиты морских сооружений при различных источниках постоянного тока в сравнении с протекторной защитой. Такой анализ строится на примерерасчетаэлектрохимическойзащиты ппунтовой стенки с площадью защищаемой поверхности 2000 м²с оценкой стоимости катодных защит с питанием от выпрямительного устройства, с питанием от солнечных панелей с аккумуляторами, с питанием от солнечных панелей без аккумуляторов ипротекторной защиты. Результаты работы показали, что стоимость катодной защиты с питанием от солнечных панелей без аккумуляторов самая низкаяпосле 10лет эксплуатации.Катодная защита с питанием только от солнечных панелей без использования аккумуляторов наиболее выгодна в холодном климате, когда сроки службы аккумуляторов снижаются, и для сооружений, удаленных от централизованных источников электроэнергии, где оценка стоимости подвода стационарных источников электропитания к защищаемому сооружению затруднена из-за учета конкретных ситуаций.

Ключевые слова: катодная защита, коррозия, плотность тока, солнечная панель, гальваностатический режим, солевые катодные осадки, защитное покрытие, морская вода

Economic efficiency of using solar panels for the impressed current cathodic protection of offshore structures with various direct current sources was compared with the sacrificialanode cathodic protection. Such an analysis was based on the example of calculating the electrochemical protection of a sheet pile wall with a surface area of 2000 m² with an estimate of the cost of impressed currentcathodic protection powered by a rectifier device, powered by solar panels with batteries, powered by solar panels without batteries and sacrificialanode cathodic protection. The results showed that the cost of impressed currentcathodic protection powered by solar panels without batteries is the lowest after 10 years of operation. Cathodic protection powered only by solar panels without the use of batteries is most beneficial in cold climates, when battery life is reduced, and for facilities that are remote from centralized power sources, where the power supplying cost to the protected structure is difficult to estimate due to specific situations.

Key words: cathodic protection, corrosion, current density, solar panel, galvanostatic mode, calcareous deposits, protective coating, seawater

Самой эффективной защитой морских металлических сооружений является электрохимическая защита [1, 2]. Часто такие сооружения оказываются удаленными от стационарных источников электрического тока, а подвод к ним электропитания стоит очень дорого или затруднен, поэтому часто встает вопрос о целесообразности использования автономных источников постоянного тока. Одним из таких надежных источников постоянного тока являются солнечные панели, срок службы которых превышает 25 лет. Они имеют один существенный недостаток –не генерируют электроэнергию ночью и для непрерывности работы катодной защиты в состав таких

устройств должны входить аккумуляторы, которые имеют значительно меньший срок службы по сравнению с солнечными панелями и требуют периодической замены и обслуживания. Катодная защита морских сооружений сопровождается образованием на металлической поверхности солевых катодных осадков [3-6], которые обладают защитной способностью [7, 8], что позволяет отключать на определенный период ток катодной защиты, например, для ремонта или для замены анодов. В работах [9, 10] показано, чтокатодная защита от устройств, питающихся только от солнечных батарей обладает достаточной защитой при плотностях тока более 0,2 А/м². Такая защита не

исключает возможность совместного использования ее с другими традиционными способами защит.

Целью данной работы является сравнительная экономическая эффективность использования солнечных панелей для катодной защиты морских сооружений при различных вариантах ее осуществления.

Сравнительную экономическую эффективность использования солнечных панелей для катодной защиты морских сооружений удобно провести на примере расчета электрохимической защиты шпунтовой стенки с площадью защищаемой поверхности 2000 м². Исходные данные для такого расчета представлены в таблице.

Исходные данные шпунтовой стенки

Параметр	Величина
Длина стенки, м	150
Глубина воды, м	10
Удельная электропроводимость воды, См/м	3
Удельная катодная поляризуемость стали, Ом·м ²	5
Стационарный потенциал стали в воде, В	-0,35
Минимальный защитный потенциал стали в воде, В	-0,55
Тип нерастворимого анода	Платинированный титан Ti (Pt)

Электрохимическую защиту от коррозии можно реализовывать при следующих вариантах:

- катодная защита с питанием от выпрямительного устройства;
- катодная защита с питанием от солнечных панелей с аккумуляторами;
- катодная защита с питанием от солнечных панелей без аккумуляторов;
- протекторная защита.

В стоимость по первому варианту, который предполагает наличие стационарного электрического питания, включены затраты на электроэнергию (при тарифе 5 руб. за 1 кВт·ч) и стоимость катодной станции с анодами и кабелями для их подключения, 200 тыс. руб. Расчеты основывались на документах [11–14].

Расчет по второму варианту аналогичен расчету для автономного питания потребителей без централизованного электропитания. Этот подход основывается на определении энергии, которая необходима при реализации катодной защиты какого-либо объекта в морской воде.

Мощность, потребляемая катодной защитой, рассчитываем по формуле:

$$N = S \cdot i \cdot U,$$

где S – площадь поверхности защищаемого морского сооружения, i – плотность тока катодной защиты, которую считаем равной 0,05 А/м²[11–14], U – номинальное напряжение источника постоянного тока в эксплуатационном периоде, 2,5 В[11-14].

Отсюда следует мощность и потребляемая энергия за сутки в эксплуатационном периоде равны

$$N_1 = 2000 \cdot 0,05 \cdot 2,5 = 250 \text{ Вт} \quad \text{и}$$

$$E = N_1 \cdot 24 = 6000 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Для обеспечения накопления такой энергии следует использовать аккумуляторную батарею емкостью 500 А·ч на 12 Вольт, способную накапливать энергию до 6000 кВт·ч. Для увеличения срока службы аккумуляторных батарей не следует допускать их глубину разряда более 25%. С учетом этого потребуются аккумуляторные батареи емкостью в четыре раза больше, а именно 2000 А·ч. Из-за постепенного снижения емкости аккумуляторной батареи по мере его работы исходную емкость следует увеличить еще в 1,5 раза. Таким образом при практической реализации такой защиты следует устанавливать аккумуляторную батарею емкостью 3000 А·ч. Это предполагает использование 14 аккумуляторных батарей емкостью 220 А·ч с некоторым запасом по энергии. Будем считать, что стоимость таких аккумуляторных батарей составит 218,6 тыс. рублей [15].

Для определения количества солнечных панелей и их мощности следует учитывать солнечную инсоляцию β для района защиты морского сооружения, которую мы считаем в среднем равной 4000 Вт·ч/м² в сутки для района Владивостока [16]. Учитывая также коэффициент неполноты превращения энергии от солнечной панели в аккумулятор θ равным 1,3 ÷ 1,5, можно оценить мощность, получаемую от солнечных панелей, необходимую для обеспечения катодной защиты [17, 18]

$$W_p = \frac{N_1 \cdot t \cdot \theta \cdot E_{ст}}{\beta} = \frac{250 \cdot 24 \cdot 1,3 \cdot 1000}{4000} = 1950 \text{ Вт},$$

где $E_{ст} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ -мощность при стандартном условии;

t - время работы в сутки.

Исходя из мощности требуемых солнечных панелей и считая, что для ее реализации используются 8 панелей мощностью по 250 Вт, их стоимость составит 63,12 тыс. руб. [19].

Таким образом стоимость аккумуляторной батареи практически в 4 раза выше стоимости солнечной панели, а общая сумма этих устройств составляет 281,72 тыс. руб. Полная цена всей катодной защиты с учетом контроллера, нерастворимых анодов и коммутационных проводов не должна превысить 320 тыс. руб.

При катодной защите с питанием только от солнечных панелей без аккумуляторов, защитная способность от коррозии морских сооружений достигается за счет формирования защитных покрытий из CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в дневное время суток, которые способны защищать объекты и в ночной, бестоковый период времени. Для оценки стоимости защиты неокрашенных морских сооружений, которые должны защищаться в ночной период солевым катодным осадком, сооружения следует защищать при большей плотности тока, порядка $0,25 \text{ A}/\text{m}^2$.

Если считать, что номинальное напряжение источника постоянного тока в эксплуатационном периоде равно 8 В [11–14], требуемая исходная мощность солнечных панелей

$$N_2 = 2000 \cdot 0,25 \cdot 8 = 4000 \text{ Вт.}$$

Если учитывать условия солнечной инсоляции для района защиты морского сооружения, которую мы считаем для Владивостока равным $4000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{m}^2$ в сутки [16], тогда мощность солнечных панелей, необходимая для обеспечения катодной защиты равна

$$\frac{N_2 \cdot t_{\text{Ест}}}{\beta} = \frac{4000 \cdot 8 \cdot 1000}{4000} = 8000 \text{ Вт [17, 18].}$$

Следовательно, панелей мощностью 300 Вт потребуется 27 шт, с некоторым запасом.

Если считать, что используется 27 панелей стоимостью 10,6 тыс. руб. каждая [19], стоимость солнечных панелей составляет 282,6 тыс. руб., то полная цена всей катодной защиты с учетом контроллера, нерастворимых анодов и коммутационных проводов не должна превысить 310 тыс. руб.

При использовании протекторной защиты стоимость протекторов можно оценить по выражению:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \cdot M_{\text{пр}},$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость кг протектора ($C_{\text{пр}} = 250 \text{ руб.}/\text{кг}$), $M_{\text{пр}}$ – требуемая масса протекторов в год. Расчет по [11, 12] показывает, что для защиты шпунтовой стенки ежегодно требуется масса протекторов типа АПЗ

$$M_{\text{пр}} = \frac{S \cdot i \cdot 8760}{\varepsilon \cdot \mu} = 448,77 \text{ кг/год}$$

где ε – фактическая токоотдача ($\varepsilon = 2440$ для АПЗ [11]), $A \cdot \text{ч}/\text{кг}$;

μ – коэффициент полезного использования ($\mu = 0,8$ для АПЗ [11]);

$i = 0,05 \text{ A}/\text{m}^2$.

Таким образом стоимость протекторов составит 112,19 тыс. руб. ежегодно, а если считать, что их следует заменять раз в пять лет, то их стоимость до очередной замены составит 560,95 тыс. руб.

На рисунке представлены расчетные зависимости затрат при реализации различных вариантов катодной защиты шпунтовой стенки площадью 2000 m^2 от срока эксплуатации до 25 лет. При расчете учитывали, что аккумуляторы должны заменяться каждые 7-10 лет из-за ограниченного срока службы.

Из рисунка видно, что стоимость протекторной защиты, катодной защиты с питанием от солнечных панелей с аккумуляторами и катодной защиты с питанием от выпрямительного устройства растут в зависимости от срока эксплуатации, а стоимость катодной защиты с питанием от солнечных панелей без аккумуляторов постоянна во времени. Исходные стоимости электрохимической защиты для всех вариантов близки друг к другу за исключением протекторной защиты, которая практически в два раза выше, что согласуется с результатами работы [20], где сравнивались технико-экономические характеристики электрохимических защит для судов. Стоимость протекторной защиты всегда выше в любой промежуток времени, поскольку требует замены износившихся протекторов. При этом стоимость катодной защиты с питанием от солнечных панелей без аккумуляторов себя оправдывает уже после 10 лет эксплуатации и показывает двукратную экономию к 25 летнему сроку эксплуатации по сравнению с другими типами катодных защит. В расчет стоимости катодной защиты от выпрямительного устройства не входили затраты на ее замену и обслуживание (ремонт, замена деталей и др.) и на подвод питания от централизованных источников электроэнергии. С учетом таких трудно учитываемых затрат, которые можно оценивать только для каждого конкретного случая, самым выгодным вариантом в практике катодной защиты являются вариант с использованием солнечных панелей.

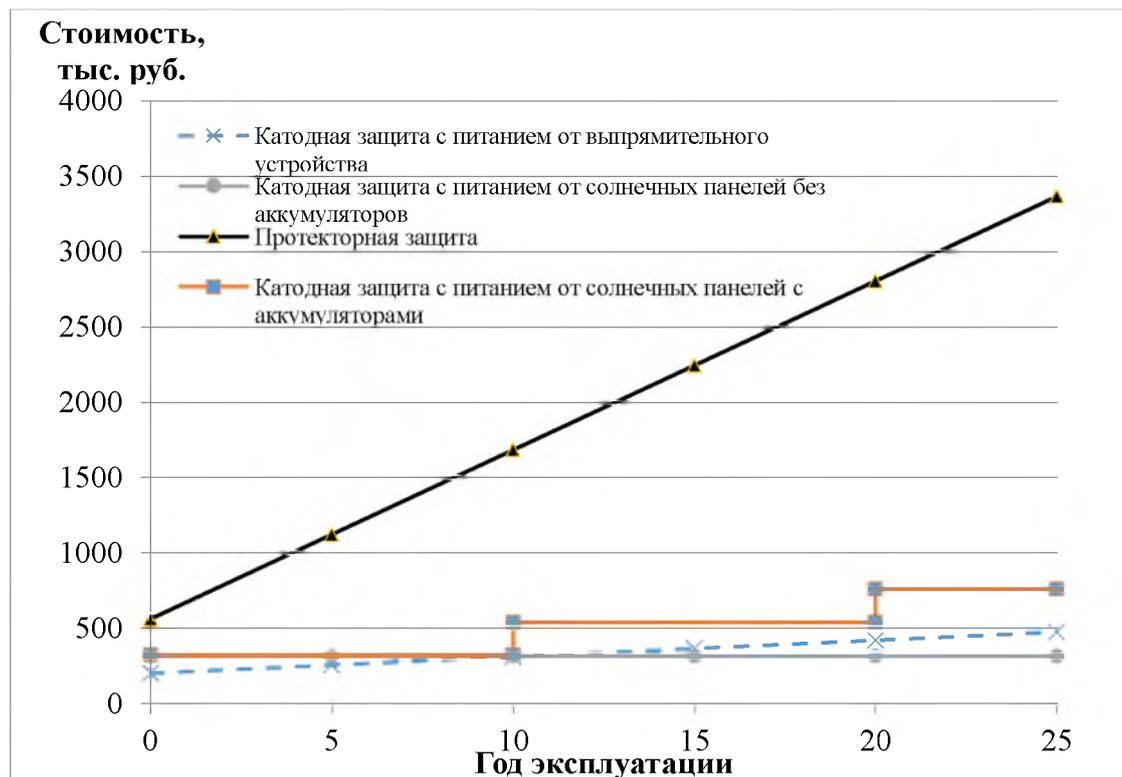


Рисунок – Затраты на защиту шпунтовой стенки от коррозии за 25 лет при различных вариантах катодной защиты

Следует особо отметить, что использование полностью автономной катодной защиты от солнечных панелей без аккумуляторов особенно актуально в холодных условиях Арктики. В таких климатических условиях катодная защита с питанием от солнечных панелей без использования аккумуляторов наиболее экономически выгодна и позволяет надежно защищать морские сооружения, находящиеся в удалении от централизованных источников питания и человеческих ресурсов.

Литература

- Hartt, W. H. Cathodic Protection of Offshore Structures—History and Current Status / W. H. Hartt // *Corrosion*. –2012. –Vol. 68. –No. 12. –Pp.1063–1075. DOI: 10.5006/0718.
- Grabowski, M. Cathodic Corrosion of Magnesium Alloy AM50 in Deicing Salt Solutions During “Cathodic Protection”. *Corrosion*. // M. Grabowski, S. Virtanen // –2017. –Vol. 73. –Is. 5. –Pp. 563-582. DOI:10.5006/2301.
- Чернов, Б. Б. Кристаллизация CaCO₃ на поверхности стали при катодной защите морских сооружений / Б. Б. Чернов, Ву Ван Мынг, А. М. Нугманов, Л. Ю. Фирсова // *Морские интеллектуальные технологии*. –2017. –Т. 2. –№ 3(37). –С. 133–140.
- Чернов, Б. Б. Формирование солевых отложений на стальной поверхности при катодной защите инженерных сооружений в морской воде / Б. Б. Чернов, Ву Ван Мынг, А. М. Нугманов, Л. Ю. Фирсова // *Морские интеллектуальные технологии*. –2018. –Т. 5. –№ 4 (42). –С. 120 —124.
- Ву, В. М. К теории массовой кристаллизации труднорастворимых соединений на поверхности электродов катодным током в жесткой воде / В. М. Ву, А. М. Нугманов, Б. Б. Чернов // *Журнал физической химии*. –2019. Т. 93. –№ 5. –С. 764-769. DOI: 10.1134/S0044453719050327.
- Barchiche, C. Role of sulphate ions on the formation of calcareous deposits on steel in artificial seawater: The formation of green rust compounds during cathodic protection / C. Barchiche, C. Deslouis, O. Gil, S. Joiret, Ph. Refait, B. Tribollet // *Electrochimica Acta*. –2009. –Vol. 54. –Pp. 3580 —3588.
- Refait, Ph. Electrochemical formation and transformation of corrosion products on carbon steel under cathodic protection in seawater / Ph. Refait, M. Jeannin, R. Sabot, H. Antony, S. Pineau // *Corrosion Science*. –2013. –Vol. 71. –Pp. 32 —36.
- Liu, F. G. Characterisation of calcareous deposits on freely corroding low carbon steel in artificial sea water / F. G. Liu, S. R. Wu, C. S. Lu // *Corrosion Engineering, Science and Technology*. –2011. –Vol. 46. –No. 5. –Pp. 611 —617.
- Ву, В. М. Применение солнечных панелей при катодной защите металлов в морской воде / В. М. Ву:

65-й международной молодежной науч.-техн. конф. «Молодежь. Наука. Инновации», 27–30 ноября. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2017. – С. 282–286.

10. Чернов, Б. Б. Солнечные панели в практике катодной защиты металлов / Б. Б. Чернов, А. М. Нугманов // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. –Т. 33. – № 3(1). –С. 234–237.

11. ПД 31.35.07–83. Руководство по электрохимической защите от коррозии металлоконструкций морских гидротехнических сооружений в подводной зоне. – Москва, 1983.

12. DNV-RP-B401. Recommended practice. Cathodic protection design. –Hevik, Norway: Det Norske Veritas, –2010. – 23 p.

13. URL :<https://pss.ru/raschet/r5-ehz-morsk.html>(дата обращения 19.12.2019).

14. URL :<https://vladivostok.tiu.ru/p356480690-stantsiya-katodnoi-zaschity.html>(дата обращения 19.12.2019).

15. URL :<http://akb.integrator.su/?vclid=7299406397402808102#/tproduct/80419934-1555045765640>(дата обращения 19.12.2019).

16. URL :<https://www.altestore.com/howto/solar-insolation-map-world-a43/> (дата обращения 19.12.2019).

17. URL :<http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm>(дата обращения 19.12.2019).

18. URL :http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php(дата обращения 19.12.2019).

19. URL :<https://www.farpost.ru/vladivostok/home/electro/solnechnaja-batareja-silasolar-300vt-polikristallicheskaja-58396482.html>(дата обращения 19.12.2019).

20. Грамузов, Е.М. Анализ технико-экономических показателей защиты корпусных конструкции судов от коррозии / Е.М. Грамузов, А.В. Родькина, О.А. Иванова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». –2019. – Выпуск 60. – С. 77–90.

References

1. Hartt, W. H. Cathodic Protection of Offshore Structures—History and Current Status / W. H. Hartt // Corrosion. –2012. –Vol. 68. –No. 12. –Pp.1063–1075. DOI: 10.5006/0718.

2. Grabowski, M. Cathodic Corrosion of Magnesium Alloy AM50 in Deicing Salt Solutions During “Cathodic Protection”. Corrosion. // M. Grabowski, S. Virtanen // –2017. –Vol. 73. –Is. 5. –Pp. 563–582. DOI:10.5006/2301.

3. Chernov, B. B. Kristallizatsiya CaCO_3 na poverkhnostistaliprikatodnoy zashchitemorskikh sooruzheniy / B. B. Chernov, Vu Van Myng, A. M. Nugmanov, L. YU. Firsova // Morskiye intellektual'nyyetekhnologii. 2017. T. 2. № 3(37). S. 133–140.

4. Chernov, B. B. Formirovaniyesolevykhotlozheniy nastal'noy poverkhnostiprikatodnoy zashchite inzhenernykh sooruzheniy v morskoy vode / B. B. Chernov, Vu Van Myng, A. M. Nugmanov, L. YU. Firsova // Morskiye intellektual'nyyetekhnologii. 2018. T. 5. № 4 (42). S. 120 –124.

5. Vu, V. M. K teoriimassovoy kristallizatsii i tvorbnostiektrodov katodnykh v zhestkoy vode / V. M. Vu, A. M. Nugmanov, B. B. Chernov // Zhurnal fizicheskoy khimii. 2019. T. 93. № 5. S. 764–769. DOI: 10.1134/S0044453719050327.

6. Barchiche, C. Role of sulphate ions on the formation of calcareous deposits on steel in artificial seawater: The formation of green rust compounds during cathodic protection / C. Barchiche, C. Deslouis, O. Gil, S. Joiret, Ph. Refait, B. Tribollet // Electrochimica Acta. –2009. –Vol. 54. –Pp. 3580 —3588.

7. Refait, Ph. Electrochemical formation and transformation of corrosion products on carbon steel under cathodic protection in seawater / Ph. Refait, M. Jeanin, R. Sabot, H. Antony, S. Pineau // Corrosion Science. –2013. –Vol. 71. –Pp. 32 —36.

8. Liu, F. G. Characterisation of calcareous deposits on freely corroding low carbon steel in artificial sea water / F. G. Liu, S. R. Wu, C. S. Lu // Corrosion Engineering, Science and Technology. –2011. –Vol. 46. –No. 5. –Pp. 611–617.

9. Vu, V. M. Primeneniye solnechnykh paneley pri katodnoy zashchite metallov v morskoy vode / V. M. Vu // 65-y mezhdunarodnoy molodezhnoy nauch.-tekhn. konf. «Molodezh'. Nauka. Innovatsii», 27–30 noyabrya. – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2017. S. 282–286.

10. Chernov, B. B. Solnechnyye paneli v praktike katodnoy zashchity metallov / B. B. Chernov, A. M. Nugmanov // morskiye intellektual'nyyetekhnologii. 2016. T. 33. № 3(1). S. 234–237.

11. ПД 31.35.07–83. Rukovodstvo po elektrokhimicheskoy zashchite ot korrozii metallokonstruktsiy morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v podvodnoy zone. – Moskva, 1983.

12. DNV-RP-B401. Recommended practice. Cathodic protection design. –Hevik, Norway: Det Norske Veritas, –2010. – 23 p.

13. URL :<https://pss.ru/raschet/r5-ehz-morsk.html>(data obrashcheniya 19.12.2019).

14. URL :<https://vladivostok.tiu.ru/p356480690-stantsiya-katodnoi-zaschity.html>(data obrashcheniya 19.12.2019).

15. URL :<http://akb.integrator.su/?vclid=7299406397402808102#/tproduct/80419934-1555045765640>(data obrashcheniya 19.12.2019)

16. URL :<https://www.altestore.com/howto/solar-insolation-map-world-a43/> (data obrashcheniya 19.12.2019).

17. URL :<http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm>(data obrashcheniya19.12.2019).
18. URL :http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php(data obrashcheniya19.12.2019).
19. URL :<https://www.farpost.ru/vladivostok/home/electro/solnechnaja-batareja-silasolar-300vt-dolikristallicheskaja-58396482.html>(data obrashcheniya19.12.2019)
20. Gramuzov, Ye.M. Analiztehniko-ekonomicheskikh pokazateley zashchity korpusnykh konstruktivnykh isudovotkorrozii / Ye.M. Gramuzov, A.V. Rod'kina, O.A. Ivanova // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT». 2019. Vypusk 60. S. 77–90.

УДК 550.83

DOI: 10.34046/aumsuomt93/22

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА ОТ КОМПРЕССОРА ДО ПНЕВМОИСТОЧНИКА

Б.А. Штефан, доктор технических наук, профессор

И.С. Катрюк, кандидат технических наук, доцент

В.Н. Таламанов, кандидат технических наук, доцент

Г.Л. Козенкова, доцент

Рассматриваются некоторые характеристики движения газа с дозвуковой скоростью по рукаву высокого давления от судовой компрессорной установки до пневматического источника. Приводится численное интегрирование системы уравнений движения газа в длинном трубопроводе методом характеристик и аналитическое решение линеаризованных уравнений неустановившегося движения газа.

Ключевые слова. Воздушный ресивер, рукав высокого давления, транспортировка газа, пневматический источник.

Some aspects of gas transmission with subsonic speed inside a high-pressure sleeve from a shipboard compressor unit to an air-gun were considered. A numerical integration of a set of equations of gas flow inside a long pipe by the method of characteristics and an analytical of linearized equations of unsteady gas flow were provide.

Keywords. Air receiver, high – pressure, gas transmission, air-gan.

Необходимость увеличения сырьевых ресурсов требует поиска и разведки новых месторождений полезных ископаемых и в первую очередь нефтегазовых. Решение этой проблемы связывается с открытием залежей в шельфовых зонах морей, а также глубоко залегающих перспективных комплексов осадочного чехла Мирового океана.

Расширение области применения геофизических методов вызывает необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов морских сейсмических исследований, позволяющих получить достоверную информацию о строении среды в сложных геологических условиях. Поэтому особенно актуальным является решение задач, стоящих перед морской нефтяной геофизикой, требующих постоянного совершенствования методики и технологии работ, разработки и внедрения новейшей сейсморазведочной аппаратуры.

Теоретический анализ упругих волн, возбуждаемых источником в водном полупространстве, позволяет уточнить физические представления о происходящих в нем процессах, установить

зависимости между формируемым сейсмическим импульсом и конструктивными параметрами источника, сделать теоретические оценки отдельных характеристик, чтобы найти его оптимальные параметры. В целом анализ позволяет правильно ориентировать конструкторские разработки и методику использования источников, оценивать влияние каждого узла на оптимальную схему разрабатываемых источников.

При срабатывании источника в водной среде образуется расширяющаяся газовая полость, близкая к сферической [М.И. Балашканд, 1972]. Исходя из этого, для количественных расчетных оценок происходящих процессов достаточно использовать зависимости, полученные при решении задачи о расширении и пульсации сферической газовой полости в жидкости [Р. Коул, 1950; К. А. Наугольных и Н. А. Рой, 1971].

Рассматривая практическую задачу о выхлопе сжатого воздуха, необходимо принимать во внимание то, что из рабочего объема источника в расширяющуюся полость происходит переток сжатого воздуха, а это приводит к расхождению