

*Гайфуллина Фарида Шагитовна, студентка 2 курса магистратуры,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический  
университет»*

*Копунова Эльза Эдуардовна, студентка 4 курса бакалавриата, ФГБОУ ВПО  
«Казанский государственный энергетический университет»*

*Тазиева Рамиля Фаридовна, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Казанский  
национальный исследовательский технологический университет»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО В СРЕДЕ SCILAB**

**Аннотация:** Горизонтальные отстойники (ГО), широко используемые в нефтедобывающей отрасли, изготавливаются из углеродистой стали различных марок, которые, несмотря на применяемые методы защиты, со временем подвергаются коррозии. В последнее время для защиты от коррозии металлических сооружений все чаще используют методы электрохимической защиты, в частности, протекторная защита. Моделирование параметров протекторной защиты ГО с помощью метода Монте-Карло (МК) позволяет получить предварительную оценку об эффективности заданных величин, на которой будет базироваться защита от коррозии.

**Ключевые слова:** моделирование, горизонтальные отстойники, протекторная защита, метод Монте-Карло, Scilab.

**Abstract:** Horizontal settler (SH), widely used in the oil producing companies, are made of various grades of carbon steel, which, despite the applied protection methods, corrode over time. Recently, electrochemical protection methods, in particular, ground protection, are increasingly used to protect metal structures from

corrosion. The modeling of SH ground protection parameters, using the Monte Carlo (МК) method, allows to obtain a preliminary estimation of the effectiveness of the given values, that will determine the future strategy against corrosion.

**Keywords:** modeling, horizontal settler, ground protection, Monte-Carlo method, Scilab.

Объем добычи и переработки нефти в России неуклонно растет [1]. Эффективная работа нефтяной промышленности обеспечивается за счет внедрения новых технологий и оптимизации уже имеющегося оборудования. Моделирование параметров работы и защиты нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего оборудования позволяет прогнозировать риски сбоев в деятельности компании и снизить расходы, выделяемые на ремонт оборудования и восстановление вреда, нанесенной окружающей среде. Известно, что на капитальный ремонт скважин затрачивает приблизительно одного миллиарда рублей [2]. Таким образом, снижение затрат, направленные на исправление и улучшение нефтяного оборудования, является как экономически, так и экологически выгодным. Цель данной работы заключалась в оценке рисков безотказной работы горизонтальных отстойников на основе моделирование параметров протекторной защиты ГО методом Монте-Карло. Для моделирования процесса протекторной защиты использовали методику расчета, приведенную в РД 153-39.0-798-13 [3].

### **Исследование предметной области**

Протекторная защита – это способ защиты конструкции катодной поляризацией за счет вставки металлических электродов, характеризующихся более отрицательным зарядом, чем заряд металла самой конструкции. Таким образом, при протекторной защите не требуется внешний источник тока. Необходимый для защиты электродный поляризационный ток создает электрохимический элемент, в котором роль катода играет металл защищаемого сооружения, а роль анода – более электроотрицательный металл (магний, цинк и их сплавы). Принцип действия протекторной защиты прост:

разрушению подвергается специально установленный анод (протектор), который имеет более электроотрицательный потенциал, чем защищаемое металлическое сооружение, которое является катодом в образовавшейся гальванической паре [4].

В данной статье описывается моделирование протекторной защиты горизонтальных отстойников. Устройство ГО показано на рис. 1.

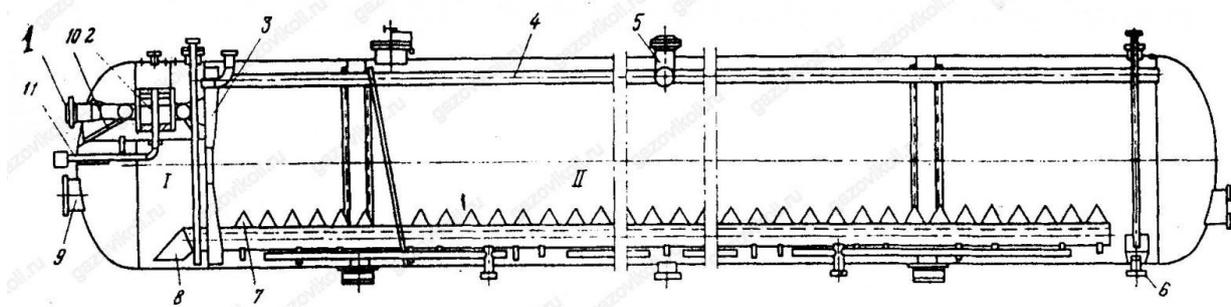


Рис 1. Схема отстойника нефти ОГ-2000С

Отсек I (сепарационный) состоит из: 1-штуцер, 2- сепаратор газа, 8-коллектор, 9-люк,10-распределитель эмульсии,11-штуцер для выхода газа.

Отсек II (отстойный): 3 - перегородка,4-сборники нефти,5-штуцер для вывода нефти из аппарата,6-штуцер для удаления отделившейся воды,7-распределители эмульсии коробчатой формы.

Принцип работы устройства заключается в замедлении движения капель воды на границе раздела фаз, с последующим переходом в общую фазу. Таким образом, образовывается слой воды, отделенный от нефтяной эмульсии. Так как нефть довольно большое время находится в устройстве и подвергается повторному перемешиванию, в отстойнике происходит его полное обезвоживание. Срок службы отстойников определяется выбором материала, учетом температурных и коррозионных воздействий, способами защиты от коррозии и многими другими требованиями.

Для моделирования значений параметров протекторной защиты горизонтальных отстойников использовался метод Монте-Карло [5]. Принцип метода заключается в том, что для нахождения неизвестной величины  $X$  многократно генерируется сопряженная случайная величина и определяется ее

среднее значение, стремящаяся к математическому ожиданию. Полученное среднее арифметическое считают за приближенное значение искомого числа  $X$ .

### Практическая часть исследования

Среда Scilab – это свободно распространяемая кроссплатформенная система компьютерной математики. Она предназначена для выполнения научно-технических расчетов, графической интерпретации полученных результатов, визуального моделирования и предоставляет обширное количество функций для анализа и обработки данных [6].

Алгоритм для моделирования значений параметров протекторной защиты состоит из следующих этапов:

1. Инициализация переменных. Определение начальных значений постоянных переменных, обнуление тех переменных, значения для которых появляются позже.

2. Генерация  $n$  случайных нормально распределенных чисел  $X$ , используя  $\mu$  и  $\sigma$  со следующей таблицы (табл. 1) для каждого параметра.

Таблица 1. Изменяемые параметры для моделирования методом Монте-Карло

№	Название параметра	Диапазон значений	Среднее значение $\mu$	Среднеквадратическое отклонение $\sigma$
1	Внутренний диаметр $d$ , м ГО	[8-40]	5,5	2,4
2	Длина линейной части $L$ , м ГО	[2-9]	24,8	12
3	Средний уровень водной фазы в ГО $h_v$ , м	[0,4-0,9] (низкий уровень воды) [1-2,25] (высокий уровень воды)	0,65 и 1,75	0,19 и 0,48
4	Коэффициент оголенности противокоррозионного покрытия ГО $S_o$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	[0,1-1]	0,55	0,3
5	Высота расположения протекторов в ГО $h_n$ , м (выбирается в зависимости от уровня водной фазы)	[0,25-0,3] (низкий уровень воды) [0,7-0,9] (высокий уровень воды)	0,28 и 0,8	0,019 и 0,07

3. Расчет изменяемых параметров с помощью метода Монте-Карло.

4. С помощью сгенерированных параметров производим вычисления с 4.1 по 4.7:

4.1 Расчет общего сопротивления между протектором и буллитом по формуле (4.1):

$$R = \frac{1}{\psi} \left[ \frac{4(\rho\delta + P_c)}{d(2L + d)S_0} + \frac{\rho}{L\sqrt{N}} \ln (A + \sqrt{A^2 - 1}) \right], \text{ Ом} \quad (4.1)$$

4.2 Расчет силы защитного тока ГО по формуле(4.2):

$$I = \frac{\frac{\Delta\varphi_e - \Delta\varphi_n}{P_n}}{R + \frac{P_n}{\pi d_c L_n N}}, \text{ А} \quad (4.2)$$

4.3 Расчет минимальной плотности защитного тока на поверхности ГО по формуле (4.3):

$$j = \frac{4I}{d(2L_n + d)S_0\psi K_T}, \text{ А/м}^2 \quad (4.3)$$

4.4 Расчет минимальной защитной катодной поляризации по формуле (4.4):

$$\Delta\varphi_3 = 0,081 \lg(1 - P), \text{ В} \quad (4.4)$$

4.5 Расчет минимально необходимой защитной плотности тока на поверхности ГО по формуле (4.5):

$$j_3 = \frac{|\Delta\varphi_3|}{P_c}, \text{ А/м}^2 \quad (4.5)$$

4.6 Общее количество протекторов определяют по формуле (4.6):

$$N_n = \frac{M}{18,8}. \quad (4.6)$$

4.7 Расчет фактического срока службы протекторов по формуле (4.7):

$$T_{\Phi} = \frac{MK_u}{Iq}, \text{ год} \quad (4.7)$$

5. Составить таблицу данных (табл.3) с наилучшими показателями срока службы протекторов в ряду и степенью защиты не менее 0,9.

Результаты моделирования параметров по методу Монте-Карло (табл.2):

Таблица 2. Параметры, вычисленные с помощью метода Монте-Карло при n=100

№	Внутренний диаметр d, м ГО	Длина линейной части L, м ГО	Средний уровень водной фазы в ГО h <sub>в</sub> , м	Коэффициент оголенности противокоррозионного покрытия ГО S <sub>о</sub> , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Высота расположения протекторов в ГО h <sub>п</sub> , м (выбирается в зависимости от уровня водной фазы)
1	5.6681797	23.372671	0.6371616	0.5581741	0.2806319
2	5.0802311	24.671219	1.6630948	0.4616605	0.7956977
3	5.4626169	24.247375	0.6500257	0.5434638	0.2804692
4	5.7534613	23.165968	1.7480045	0.556949	0.8027821
5	5.3731538	23.884807	0.6687045	0.5586335	0.2795979
6	5.7556335	22.373205	1.7800105	0.5342715	0.79374

Примечание: для параметра, определяющего высоту расположения протекторов, сгенерированы 3 значений из диапазона низкого уровня воды и 3 значений, соответственно, высокого уровня воды. Также существует зависимость между толщиной противокоррозионного покрытия и коэффициентом дефектности покрытия буллита. Если коэффициент дефектности покрытия равняется единице, то толщина противокоррозионного покрытия равно нулю, иначе  $1,5 \cdot 10^{-4}$  м. Вычисления проводились при различных значениях степени защиты ГО: 0,8; 0,85; 0,90; 0,95.

Таблица 3. Наилучшие значения показателей протекторной защиты ГО, при заданных параметрах

Номер изменяемого параметра	Количество рядов протекторов	Степень защиты ГО	Срок службы протекторов в годах
1	4	0,95	12
2	3	0,95	8
3	4	0,95	12
4	4	0,90	8
5	4	0,95	12
6	4	0,90	8

Итак, из табл. 3 следует, что для протекторной защиты с низким уровнем воды можно выбрать любое значение изменяемых параметров из табл. 2 и установить 4 ряда протекторов и степень защиты ГО будет равной 0,95, что соответствует высокой степени защиты. Для защиты ГО с высоким уровнем воды целесообразно выбрать изменяемый параметр №2, который позволяет при степени защиты ГО равной 0,95 служить протекторам 8 лет, но с 3 рядами протекторов, что позволит сэкономить на протекторах по сравнению с другими вычисленными изменяемыми параметрами.

### **Выводы**

1. Исследованы протекторная защита, устройство и принцип работы горизонтальных отстойников.
2. Проведено моделирование параметров протекторной защиты ГО методом Монте-Карло в системе Scilab.
3. Выполнены расчеты протекторной защиты горизонтальных отстойников по методологии РД 153-39.0-784-12.

### **Библиографический список:**

1. Строительство нефтегазопромысловых объектов: учебное пособие/ В.Д. Гребнев, Д.А. Мартюшев Г.П. Хижняк // Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.- Пермь, 2012. - 115 с.
2. Проблемы внешней коррозии обсадной колонны и катодная защита / В. Э. Ткачева, С. А. Долгих, Ф. Ш. Шакиров. // Вестник технологического университета. –Казань, 2015. -Т.18. -№12. – С. 44-47.
3. РД 153-39.0-784-12. Инструкция по защите емкостного нефтепромыслового оборудования от коррозии. Альметьевск: ТатНИПИнефть, 2013.
4. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов/ Иоссель Ю.Я., Кленов Г.Э.// Справ. изд.-М.: металлургия, 1984. 272 с.
5. И. М. Соболев. Метод Монте-Карло. - Москва: «Наука», 1968. — 64 с.

6. Решение задач теории вероятностей и математической статистики в среде Scilab: учебно-методическое пособие / А. Н. Титов, Р. Ф. Тазиева. - Казань: КНИТУ, 2019. -120 с.