

С. А. Долгих, Ф. Ш. Шакиров, С. С. Виноградова,  
Б. Л. Журавлев

## ВЫБОР ТОКА ЗАЩИТЫ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

### С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО – ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ

*Ключевые слова:* обсадная колонна, катодная защита, ток защиты, смещение потенциала.

*Рассматривается алгоритм выбора величины защитного тока с использованием метода расчета сдвига потенциала в стволе скважины и величины сопротивления в системе скважина/грунт на примере трех скважин НГДУ «Бавлынефть», отличающихся сроком эксплуатации. Показано влияние срока эксплуатации скважин на расчетные значения величины тока защиты.*

*Keywords:* well casing, cathodic protection, protection current, potential displacement.

*This article discusses the algorithm for selecting protective current values using the method of calculating the potential shift in the wellbore and the resistance value in the system well / soil. Shows the influence of the life of the wells in the calculated values of current protection using three wells NGDU "Bavlyneft" distinguished service life.*

Основным параметром катодной защиты обсадных колонн является величина защитного тока [1,2]. Существует ряд методов, позволяющих определить величину требуемого тока катодной защиты [3,4]: метод поляризационных кривых (электрического каротажа); метод определения профиля падения напряжения на эксплуатационной колонне; метод расчета сдвига потенциала в стволе скважины и величины сопротивления в системе скважина/грунт; метод моделирования катодной защиты скважины.

В данной работе рассматривается алгоритм использования метода расчета сдвига потенциала в стволе скважины и величины сопротивления в системе скважина/грунт для выбора величины защитного тока на примере трех скважин НГДУ «Бавлынефть», отличающихся сроком эксплуатации:

#### Скважина № 29 П

начало эксплуатации - сентябрь 1983 г

Элементы конструкции	Высота (L), м	Диаметр (d), м	Толщина стенки (e), м
Направление	40	0,324	0,01
Кондуктор	247	0,245	0,008
Эксплуатационная колонна	1945	168	0,008

#### Скважина № 3913

начало эксплуатации - май 2005 г.

Элементы конструкции	Высота (L), м	Диаметр (d), м	Толщина стенки (e), м
Направление	40	0,324	0,01
Кондуктор	270	0,245	0,0079
Эксплуатационная колонна	1851	0,168	0,0089

#### Скважина № 4813 Г

начало эксплуатации – октябрь 2010 г.

Элементы конструкции	Высота (L), м	Диаметр (d), м	Толщина стенки (e), м
Направление	40	0,324	0,0095
Кондуктор	302	0,245	0,007
Эксплуатационная колонна	1562	0,168	0,0073

Метод расчета сдвига потенциала в стволе скважины и сопротивления в системе скважина/грунт,

позволяет, зная величину защитного тока и смещение потенциала на устье скважины, рассчитать сдвиг потенциала на забое скважины [4] или, зная требуемую величину сдвига потенциала на забое скважины, рассчитать ток защиты. В соответствии с этим методом алгоритм расчета параметров катодной защиты состоит из четырех этапов.

Первый этап расчета включает определение геометрических (общая площадь поперечного сечения участков) и электрических (продольное омическое сопротивление обсадной колонны, коэффициент затухания и характеристическое сопротивление) параметров конструкции.

Второй этап включает в себя испытания с подачей поляризующего тока ( $I_n$ ), при котором измеряют сдвиг потенциала на устье скважины ( $U_n$ ) и рассчитывают отношение  $U_n/I_n$ .

Третий этап методики предусматривает определение методом последовательных приближений величины удельного сопротивления покрытия обсадной колонны.

Четвертый этап методики заключается в получении уравнений связывающих значения смещения потенциала на устье скважины ( $U_3$ ) со смещением потенциала на забое ( $U_0$ ), и величину смещения потенциала на забое ( $U_0$ ) с величиной тока защиты ( $I_3$ ):

$$\begin{cases} U_3 = K_1 \cdot U_0 \\ I_3 = K_2 \cdot U_0 \end{cases}$$

где  $K_1$  - коэффициент пропорциональности между сдвигами потенциала на устье и на забое;  $K_2$  - коэффициент пропорциональности между сдвигом потенциала на забое и током защиты

Используя данную систему уравнений, рассчитывают значение тока защиты при заданном смещении потенциала на забое скважины.

Для реализации методики расчета параметров катодной защиты разработано программное обеспечение с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi 7 [5].

В методике [3,4] предполагается, что

соотношение между смещением потенциала на устье скважины и силой тока защиты, а так же рассчитанное значение удельного сопротивления покрытия не зависят от величины поляризующего тока, используемого в процессе испытаний. Однако, в работе [5] установлено, что значения коэффициентов пропорциональности K1 и K2 в уравнениях (этап 4) зависят от величины поляризующего тока.

Результаты экспериментального определения потенциала на устье скважины при разных значениях поляризующего тока для трех скважин НГДУ «Бавлынефть» приведены в табл.1.

**Таблица 1 - Результаты экспериментального определения потенциала на устье скважины при разных значениях силы тока защиты**

№ скважины	Потенциал без тока, В	Потенциал на устье скважины под током, В		
		3А	5А	7А
29П	-0,700	-1,08	-1,17	-1,19
3913	-0,647	-1,13	-1,15	-1,21
4813Г	-0,750	-1,36	-1,50	-1,57

Данные таблицы 1 показывают влияние срока эксплуатации на значение потенциала на устье скважины при выбранной силе тока защиты - чем меньше срок эксплуатации, тем больше смещение потенциала на устье скважины.

На основании экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты для уравнений, связывающих значения смещения потенциала на устье скважины ( $U_3$ ), со смещением потенциала на забое ( $U_0$ ), и величину смещения потенциала на забое ( $U_0$ ) с величиной тока защиты ( $I_3$ ) при рассматриваемых значениях силы поляризующего тока:

Скважина № 29П

Для силы тока 3 А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,36 \\ I_3 = U_3 \cdot 10,79 \end{cases}$$

Для силы тока 5А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,53 \\ I_3 = U_3 \cdot 16,62 \end{cases}$$

Для силы тока 7А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,79 \\ I_3 = U_3 \cdot 25,87 \end{cases}$$

Скважина № 3913

Для силы тока 3 А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,22 \\ I_3 = U_3 \cdot 7,62 \end{cases}$$

Для силы тока 5А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,39 \\ I_3 = U_3 \cdot 13,91 \end{cases}$$

Для силы тока 7А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,53 \\ I_3 = U_3 \cdot 19,27 \end{cases}$$

Скважина № 4813Г

Для силы тока 3 А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,17 \\ I_3 = U_3 \cdot 5,76 \end{cases}$$

Для силы тока 5А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,24 \\ I_3 = U_3 \cdot 8,28 \end{cases}$$

Для силы тока 7А: 
$$\begin{cases} U_3 = U_0 \cdot 1,32 \\ I_3 = U_3 \cdot 11,3 \end{cases}$$

Результаты расчета силы тока защиты ( $I_3$ ) при выбранных смещениях потенциала на забое скважины ( $U_0$ , В) с использованием рассчитанных, при значениях

поляризующего тока 3, 5 и 7А, коэффициентов пропорциональности K1 и K2 представлены в табл.2.

**Таблица 2 – Влияние экспериментального значения силы тока защиты (3, 5 и 7 А) на рассчитанные значения силы тока защиты ( $I_3$ , А) при выбранных смещениях потенциала на забое скважины ( $U_0$ , В)**

№ СКВ	Рассчитанные значения силы тока защиты ( $I_3$ , А) при выбранных смещениях потенциала на забое скважины ( $U_0$ , В)	
	3 А	
	$U_0 = 0,1$	$U_0 = 0,2$
29П	1,08	2,16
3913	0,76	1,52
4813Г	0,58	1,15
5А		
29П	1,66	3,32
3913	1,39	2,78
4813Г	0,83	1,66
7А		
29П	2,59	5,17
3913	1,93	3,85
4813Г	1,13	2,26

Срок эксплуатации скважины влияет на величину удельного сопротивления покрытия обсадной колонны, что приводит к росту расчетного значения силы тока (табл. 2), необходимого для обеспечения заданного смещения потенциала на забое.

Расчетное значение силы тока, необходимого для обеспечения заданного смещения потенциала на забое зависит также от тока поляризации, при котором проводились измерения. Это обусловлено тем, что величина тока поляризации оказывает влияние на значения коэффициента K1, связывающего смещение потенциала на устье и на забое, а так же коэффициента K2, связывающего смещение потенциала на забое с током защиты.

Для повышения точности расчета тока защиты необходимо чтобы экспериментальные значения тока поляризации были близки к значениям тока защиты, получаемым в результате расчета. Например, для скважины №29П при смещении потенциала на забое 0,1В по мере уменьшения тока поляризации (7А, 5А и 3А) разница между расчетными значениями тока защиты уменьшается (2,59; 1,66 и 1,08А).

В работе [2] было установлено наличие анодных зон на участках обсадной колонны, на которых происходит перетекание тока через грунт с одного элемента колонны на другой, причем величина тока утечки в анодных зонах увеличивается при увеличении силы тока защиты. Это делает целесообразным выбор минимальной силы тока защиты, которая обеспечивает заданное смещение потенциала на забое скважины.

Данные представленные в таблице 2 позволили предложить алгоритм расчета силы тока

защиты. Экспериментальные исследования проводят при силе тока порядка 7А, затем при выбранном смещении потенциала на забое ( $U_0$ ) рассчитывают силу тока защиты ( $I_3$ ). Если расчетное значение силы тока меньше экспериментального (для скважины №3913,  $I_3=7A$ ,  $U_0=0,2B$ ,  $I_3=3,85A$ ), то на следующем шаге в эксперименте используют меньшее значение поляризующего тока (для данного примера - значение поляризующего тока 5А, а расчетное значение тока защиты составит 3,85А). Эксперименты и расчеты проводят до тех пор, пока результаты не сблизятся (для данного примера при 3А расчетное значение тока защиты составит 1,52А), либо пока не будет достигнута минимальное значение тока защиты. Если рассчитанное значение превосходит, значение при котором проводились экспериментальные исследования, то на следующем шаге в эксперименте увеличивают плотность поляризующего тока.

### Литература

1. Долгих, С.А. Расчет распределения плотности тока защиты по глубине обсадной колонны нефтяной скважины / С.А. Долгих, Р.А. Кайдриков, Б.Л. Журавлев, В.Э.

---

© С. А. Долгих – асп. каф. технологии электрохимических производств КНИТУ, с.н.с. ТатНИПИнефть г.Бугульма, [dolg@tatnipi.ru](mailto:dolg@tatnipi.ru); Ф. Ш. Шакиров - зав. лаб. защиты от коррозии института ТатНИПИнефть г.Бугульма, [fsharirov@tatnipi.ru](mailto:fsharirov@tatnipi.ru); С. С. Виноградова – канд. техн. наук, доц. каф. технологии электрохимических производств КНИТУ, [vsvet@kstu.ru](mailto:vsvet@kstu.ru); Б. Л. Журавлев – д-р хим. наук, проф. той же кафедры, [bgyr@kstu.ru](mailto:bgyr@kstu.ru).

- Ткачева // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. - № 20. – С. 191-193.
2. Долгих, С.А. Определение тока защиты и расчет смещения потенциала на забое обсадной колонны нефтяной скважины / С.А. Долгих, Б.Л. Журавлев, Р.А. Кайдриков, В.Э. Ткачева // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. - № 22. – С. 241-244
  3. EN 12954, Cathodic protection of buried or immersed metallic structures. General principles and application for pipelines, 2001.
  4. EN 15112, Äußerer kathodischer Korrosionsschutz von Bohrlochverrohrungen; Deutsche Fassung EN 15112:2006
  5. Долгих, С.А. Определение параметров расчетной модели катодной защиты обсадных колонн по результатам исследований в промышленных условиях /С.А. Долгих, Ф.Ш. Шакиров, С.С. Виноградова, Б.Л. Журавлев, И.Н. Галиев // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2013. - № 19. – С. 313-316.