

Ресурс обсадных колонн повышают, осуществляя ряд комплексных мероприятий, включающих использование катодной защиты [1,2]. Основным параметром катодной защиты является величина защитного тока. 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 метод расчета сдвига потенциала в стволе скважины и сопротивления в системе скважина/грунт. Цель работы заключалась в разработке программного обеспечения для расчетно-экспериментальной методики определения параметров катодной защиты обсадных колонн с учетом конструкции скважин; проведении расчетов параметров модели и сопоставлении результатов расчетов и результатов экспериментальных исследований в промысловых условиях. 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 и электрических параметров конструкции в соответствии с типом и характеристиками скважины. Для обсадной колонны, состоящей из трех участков, поперечное сечение металлической конструкции на разных уровнях определяется согласно схеме, представленной на рис. 1 [4]. Рис. 1 - Схема определения поперечного сечения обсадной колонны, состоящей из трех участков (слева направо): эксплуатационной колонны; эксплуатационной колонны и кондуктора; эксплуатационной колонны, кондуктора и направления. Формула определения общей площади поперечного сечения участков имеет вид: где d – наружный диаметр трубы; e – толщина стенки трубы. Продольное омическое сопротивление обсадной колонны определяется по формуле: (единица) – длина участка. В систему электрических параметров при расчетах входят коэффициент затухания a_k и характеристическое сопротивление g_k , определяемые по соответствующим формулам: где r_k – продольное омическое сопротивление; r_{co} – удельное сопротивление покрытия; d_k – наружный диаметр участка обсадной колонны. Второй этап включает в себя испытания с подачей поляризующего тока (I_n), при котором измеряют сдвиг потенциала на устье скважины (U_n) и рассчитывают соотношение U_n/I_n . Третий этап методики предусматривает определение методом последовательных приближений величины удельного сопротивления покрытия (r_{co}). Расчеты проводят, начиная с нижнего участка, принимая произвольное смещение потенциала на забое U_0

(например, $U_0 = 1$). Для колонны, состоящей из трех участков, используют три системы уравнений [4]. Для первого участка (забой): $A \ U_1 = U_0 \times \cosh(b_1)$ Для второго участка: $B \ U_2 = U_1 \times \cosh(b_2) + g_2 \times I_1 \times \sinh(b_2)$ Для третьего участка: $C \ U_3 = U_2 \times \cosh(b_3) + g_3 \times I_2 \times \sinh(b_3)$ В этих уравнениях $b_k = \alpha_k \cdot L_k$ где α_k – коэффициент затухания; L_k – длина участка. В данной методике предполагается, что величина r_{co} , выражающая удельное сопротивление покрытия, неизменна по всей поверхности скважины для всех участков. Для решения системы уравнений выражения для U_1 и I_1 системы А подставляют в систему В и соответственно выражения для U_2 и I_2 , полученные в системе В, подставляют в систему С. В результате подстановок получают систему С/: $C/ \ B$ рассматриваемой модели принято, что значение соотношения (U_3/I_3 – отношение сдвига потенциала на устье скважины к току защиты) не зависит от величины U_0 , а зависит только от значений параметров $b_1, b_2, b_3, g_1, g_2, g_3$, которые являются функциями r_{co} . Подставляя параметр r_{co} в выражение для U_3 и I_3 и приравнявая соотношение U_3/I_3 к полученному экспериментально значению этого соотношения, методом последовательных приближений рассчитывают значение r_{co} . Четвертый этап методики включает подстановку значения « r_{co} » во все выражения для b_1, b_2, b_3, g_1, g_2 и g_3 в системе С/. Полученные уравнения связывают 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): $U_3 = K_1 \cdot U_0 \ I_3 = K_2 \cdot U_0$ 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 смещение потенциала на устье и забое скважины при любой заданной силе тока. Для реализации рассмотренного алгоритма расчета параметров катодной защиты разработано программное обеспечение с использованием объектно-ориентированного языка программирования Delphi 7. Диалоговое окно программы условно можно разделить на три области (рис.2).

Рис. 2 - Диалоговое окно программы для определения параметров катодной защиты обсадной колонны, состоящей из пяти участков

Область ввода исходных данных:

- ввод параметров колонны (число участков от одного до пяти);
- ввод параметров каждого участка колонны (м) – диаметр, длина и толщина стенки;
- ввод значения потенциала на устье скважины до подачи тока (В);
- ввод значения силы тока (А);
- ввод значения потенциала на устье скважины после отключения тока (В);

Область результатов расчета коэффициентов пропорциональности:

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

Область расчета параметров катодной защиты:

- Вариант 1 – Расчет сдвига потенциала на забое при заданном токе защиты;
- Вариант 2 – Расчет тока защиты при заданном сдвиге потенциала на забое.

Для выбора варианта расчета выделяют “Вариант

1” или “Вариант 2”. В случае выделения “Вариант 1” задают ток защиты $I_3(A)$ и определяют сдвиг потенциала на забое $U_0(B)$, в случае выделения “Вариант 2” задают сдвиг потенциала на забое $U_0(B)$ и определяют ток защиты $I_3(A)$.

Сопоставление результатов расчетов и результатов экспериментальных исследований в промысловых условиях провели для обсадной колонны скважины № 7263г НГДУ «Бавлынефть» (2012 г. пуск в эксплуатацию), состоящей из трех участков: направление, кондуктор, эксплуатационная колонна (рис. 3).

Кондуктор Эксплуатационная колонна Направление Рис. 3 – Трехступенчатая обсадная колонна

На первом этапе исследования были проведены испытания с подачей тока поляризации ($I_n=6A$), при этом потенциал на устье скважины до подачи тока (U_0, B) составлял $-0,757 B$ (МСЭ), а после отключения тока (U_1, B) составил $2,9 B$. Рассчитанное значение соотношения (ρ_{co}) при этом составило $0,357$. Результаты определения соотношения (ρ_{co}) и удельного сопротивления покрытий ($\rho_{co}, \text{Ом} \cdot \text{м}^2$) при значениях силы тока защиты от 3 до 10 А приведены в табл.1. В рассматриваемой методике предполагается, что значения соотношения между смещением потенциала на устье скважины и силой тока защиты, а так же значения удельного сопротивления покрытия не изменяются при изменении силы тока защиты. Однако испытания в промысловых условиях и результаты расчета показали, что значения этих параметров модели зависят от величины силы тока защиты при этом коэффициент вариации составляет $0,11$. После подстановки значения « ρ_{co} » во все выражения для b_1, b_2, b_3, g_1, g_2 и γ_3 были получены уравнения, связывающие 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 тока: Для силы тока 3 А: Для силы тока 4 А: Для силы тока 5 А: Для силы тока 6 А: Для силы тока 7 А: Для силы тока 8 А: Для силы тока 9 А: Для силы тока 10 А: Результаты расчета сдвига потенциала на забое (U_0) с использованием значения силы тока защиты $=f(I_3)$ и сдвига потенциала на устье скважины $=f(U_3)$ и усредненных значений коэффициентов (ρ_{co}) представлены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты определения сдвига потенциала на устье скважины, измеренные и рассчитанные соотношения между сдвигом потенциала и током защиты

Сила тока (I_3, A)	Сдвиг потенциала (U_3, B)	$\rho_{co}, \text{Ом} \cdot \text{м}^2 = f(U_3)$	$\rho_{co}, \text{Ом} \cdot \text{м}^2 = f(I_3)$
3	0,783	0,261	373
4	0,65	0,80	4
5	1,243	0,311	450
6	1,04	1,06	5
7	1,843	0,369	541
8	1,54	1,33	6
9	2,143	0,357	523
10	1,88	1,59	7
	2,363	0,338	492
	1,97	1,86	8
	2,663	0,333	485
	2,22	2,12	9
	2,843	0,316	458
	2,37	2,39	10
	2,963	0,296	428
	2,47	2,65	

Данные табл. 2 показали, что при использовании в расчетах средних значений коэффициентов K_1 и K_2 , результаты расчетов сдвига потенциала на забое $U_0=f(U_3)$ близки к результатам расчетов сдвига потенциала на забое $U_0=f(I_3)$. В качестве примера на рис. 4 показано диалоговое окно программы с вариантом расчета сдвига потенциала на забое при токе защиты 6А. Оценку степени влияния срока эксплуатации колонны на значения параметров модели провели на основании

расчетов для обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» (1980 г. ввод в эксплуатацию), состоящей из трех участков: направление, кондуктор, эксплуатационная колонна (рис. 3). Сдвиг потенциала, измеренное соотношение (Δ , В/А) и удельное сопротивление покрытия для для обсадной колонны скважины № 22505 составили: сила тока ($I_z=6$ А), потенциал после отключения тока, ($U_1= -0,97В$), сдвиг потенциала ($U_z =0,26В$), измеренное соотношение ($\Delta=0,043$ В/А), удельное сопротивление покрытия ($r_{co} =30$ Ом* м²). Уравнения для расчета смещения потенциала на устье и забое скважины при любой заданной силе тока имеют вид: Результаты расчета сдвига потенциала на устье ($U_z, В$) и на забое ($U_0, В$) с использованием этих уравнений представлены в табл.2. Рис. 4 – Результаты расчетов «Вариант 1» на скважине № 7263г НГДУ «Бавлынефть» Таблица 2 – Результаты определения сдвига потенциала на устье и на забое скважины Сила тока защиты (I_z , А) Сдвиг потенциала на устье (U_z В) Сдвиг потенциала на забое (U_0 В)

3	-0,128	0,048
4	-0,171	0,064
5	-0,213	0,080
6	-0,256	0,096
7	-0,299	0,112
8	-0,341	0,128
9	-0,384	0,144
10	-0,426	0,160

Сопоставление данных табл. 1 и 2 показывает существенное различие в сдвигах потенциалов, как на устье так и на забое скважин при одной и той же силе тока защиты для скважины № 7263г НГДУ «Бавлынефть» (2012 г. ввод в эксплуатацию) и для скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» (1980 г. ввод в эксплуатацию). Это различие в основном связано, с тем что удельное сопротивление покрытия для обсадной колонны скважины № 7263г НГДУ «Бавлынефть» составляет 469 Ом.м², а для обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» - 30 Ом.м². Выводы 1. Разработано программное обеспечения для расчетно-экспериментальной методики определения параметров катодной защиты обсадных колонн с учетом конструкции скважин. 2. Установлено, что соотношение между смещением потенциала на устье скважины и силой тока защиты, а так же рассчитанное значение удельного сопротивления покрытия зависят от величины силы тока защиты. 3. Показано, что рассматриваемая методика позволяет эффективно оценивать удельное сопротивление покрытия колонны, которая в свою очередь зависит от возраста скважины и от условий эксплуатации.