

Введение Нефтяные скважины являются дорогостоящими капитальными сооружениями, которые служат многие десятилетия и представляют собой сложную инженерную конструкцию. Наиболее ответственной частью скважины является обсадная колонна, которая служит для крепления ствола скважины и изоляции различных геологических пластов. В контакте с цементом сталь находится в пассивном состоянии. Однако не всегда удается обеспечить надежное цементное покрытие всей наружной поверхности колонны за счет целого ряда дефектов, являющихся причиной возникновения анодных зон, которыми являются плохо зацементированные участки металлической конструкции, находящиеся в контакте с агрессивной средой. Коррозия обсадных труб, как правило, развивается неравномерно, особенно в случае сероводородной коррозии, и преимущественно носит язвенный характер, вызывающий появление сквозных отверстий в трубах часто на фоне незначительной общей коррозии, что приводит к отказу обсадной колонны [1]. Для решения этой проблемы применяют катодную защиту. Защищенность обсадной колонны зависит от распределения потенциала и токов защиты по высоте колонны. Экспериментальная часть и методика расчета Предлагаемая методика расчета распределения плотности тока по глубине обсадной колонны основана на материалах РД 153-39.0-531-07 «Инструкция по катодной защите обсадных колонн скважин и выкидных линий (разводящих водоводов) от наружной коррозии» [2]. В этой методике дополнительно учитывается изменение площади поперечного сечения металла и изменение площади наружной поверхности участков колонны по ее высоте. Расчет распределения плотности тока катодной защиты по глубине обсадной колонны базируется на результатах измерения падения напряжения, полученных с помощью двухконтактного зонда (рис. 1). Рис. 1 - Схема измерения падения напряжения на обсадной колонне скважины: 1 - обсадная колонна; 2 - верхний контактный узел зонда; 3 - нижний контактный узел зонда; 4 - регулируемый источник постоянного тока; 5 - анодный заземлитель; 6 - милли(микро)вольтметр; 7 - милливольтметр; 8 - МЭС Измерение падения напряжения на колонне двухконтактным зондом производят через каждые 50 м в пределах исследуемого интервала по истечении 30 с после остановки зонда. Для измерения падения напряжения применяют измерительные приборы (милливольтметры, микровольтметры), входное сопротивление которых должно быть не менее 1 МОм. В качестве примера на рис. 2 представлено распределение падения напряжения между контактами зонда по глубине обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» при отключенной катодной защите (естественное состояние колонны) и двух значениях силы тока защиты 6 и 12 А. Анализ экспериментальных данных о распределении падения напряжения по глубине обсадной колонны показал, что на глубинах 50, 100, 150, 250, 300, 350, 850 м наблюдаются скачкообразные изменения. Наблюдаемые

изменения могут быть связаны либо с изменением сопротивления металла обсадной колонны на рассматриваемом участке либо с особенностями протекания тока по обсадной колонне. Рис. 2 - Распределение падения напряжения между контактами зонда по глубине обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» При расчете значений силы тока, протекающего через соответствующие участки обсадной колонны, на основании данных рис. 2 учитывали, что обсадная колонна состоит из трех участков (рис. 3), отличающихся площадью поперечного сечения. Рис. 3 - Трехступенчатая обсадная колонна: АВ – эксплуатационная колонна; ВС – кондуктор; CD направление Площадь поперечного сечения обсадной колонны на разных ее участках рассчитывали по известным формулам: эксплуатационная колонна  $S_1 = \pi \cdot d_1 \cdot e_1$ ; кондуктор  $S_2 = \pi \cdot (d_1 \cdot e_1 + d_2 \cdot e_2)$  направление  $S_3 = \pi \cdot (d_1 \cdot e_1 + d_2 \cdot e_2 + d_3 \cdot e_3)$  где  $d_1-3$  – диаметры наружной поверхности труб;  $e_1-3$  – толщина труб; Площади поперечного сечения участков рассматриваемой обсадной колонны с учетом их изменения по высоте составили: - Участок 1 (эксплуатационная колонна):  $AB = 1757$  м;  $d_1 = 146$  мм;  $e_1 = 7,7$  мм;  $S_1 = \pi \cdot d_1 \cdot e_1 = 35,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> - Участок 2 (кондуктор):  $BC = 274$  м;  $d_2 = 245$  мм и  $d_1 = 146$  мм;  $e_2 = 8,9$  мм и  $e_1 = 7,7$  мм;  $S_2 = \pi \cdot (d_1 \cdot e_1 + d_2 \cdot e_2) = 103,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> - Участок 3 (направление):  $CD = 32$  м;  $d_3 = 324$  мм,  $d_2 = 245$  мм и  $d_1 = 146$  мм;  $e_3 = 9,5$  мм,  $e_2 = 8,9$  мм и  $e_1 = 7,7$  мм.  $S_3 = \pi \cdot (d_1 \cdot e_1 + d_2 \cdot e_2 + d_3 \cdot e_3) = 200,4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>

Сопротивление участков обсадной колонны между контактами зонда определяли по формуле:  $(Om)$ , где  $\rho$  – удельное сопротивление стали, равное  $18 \cdot 10^{-8}$  Ом·м;  $l$  – длина участка, равная 7,5 м;  $S$  – площадь поперечного участка, м<sup>2</sup>. Для рассматриваемой обсадной колонны сопротивления участков между контактами зонда составили: Ом; Ом; Ом. Ток, протекающий через контролируемые участки обсадной колонны, рассчитывается по формуле:  $(A)$  где  $DU$  – падение напряжения между контактами зонда;  $R$  – сопротивление участка колонны между контактами зонда. Распределение токов по длине обсадной колонны для рассматриваемого примера представлено на рис. 4. Рис. 4 – Распределение токов по глубине обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» при токе защиты 6 и 12 А: 1 – расчет по геометрическим характеристикам обсадной колонны; 2 – расчет с учетом положения металлического контакта между участками Результаты расчета распределения токов по глубине обсадной колонны с использованием ее геометрических характеристик (рис. 4, кривые 1 и 1\*) показали, что на глубине 250 м наблюдается резкий рост силы тока (5,53 А и 10,54 А при токах защиты 6 и 12 А соответственно), за которым следует такой же резкий спад. Вероятной причиной этого скачка тока является несовпадение начала очередного участка (кондуктора) с положением точки металлического контакта между эксплуатационной колонной и кондуктором (положение центратора). Вследствие этого в расчетах силы тока, соответствующей глубине 250 м, использовали

сопротивление эксплуатационной колонны. Скорректированные зависимости, отражающие изменение силы тока по глубине обсадной колонны представлены кривыми 2 и 2\*. Наблюдаемое снижение силы тока, протекающего через эксплуатационную колонну, на глубине между 350 и 300 м объясняется, по нашему мнению, появлением блуждающего тока, стекающего с эксплуатационной колонны на кондуктор. На глубине между 100 и 50 м наблюдается аналогичное снижение силы тока, объясняемое стеканием тока с кондуктора на направление. Ток, натекающий на обсадную колонну в каждом интервале (по 50 м), рассчитывали по формуле:  $I = I_1 - I_2$  где  $I_1$  - значение тока в начальной точке интервала (расположенной выше) А;  $I_2$  - значение тока в конечной точке интервала. Часть результатов расчета силы тока, натекающего на эксплуатационную колонну между участками (включая участок, где ток стекает с колонны), приведена в табл. 1. Таблица 1 - Результаты расчета силы тока (А), натекающего на эксплуатационную колонну

Интервал м	Ток, защиты 6 А	Ток, защиты 12 А
200-250	0,34	0,24
250-300	-0,13	0,08
300-350	0,12	0,8
350-400	0,46	-0,33
...	0,29	0,29

Площадь наружной поверхности, соответствующую разным интервалам глубины обсадной колонны, рассчитывали по формуле:  $S = \pi \times D_i \times l$  где  $D_i$  - диаметр  $i$ -ого участка колонны, м;  $l$  - расстояние, через которое осуществляются замеры, равное 50 м. С учетом диаметров направления, кондуктора и эксплуатационной колонны ( $D_1 = 146$  мм;  $D_2 = 245$  мм;  $D_3 = 324$  мм) площадь поверхности  $i$ -го участка составила:  $S_1 = 3,14 \times 0,146 \times 50 = 22,92$  м<sup>2</sup>  $S_2 = 3,14 \times 0,245 \times 50 = 38,47$  м<sup>2</sup>  $S_3 = 3,14 \times 0,324 \times 50 = 50,87$  м<sup>2</sup> Расчет распределения плотности тока катодной защиты по глубине обсадной колонны проводили по формуле:  $I_1 - I_2 / S$  где  $I_1$  - значение тока в начальной точке интервала, А;  $I_2$  - значение тока в конечной точке интервала, А;  $D_i$  - диаметр  $i$  ого участка колонны, м;  $l$  - расстояние, через которое осуществляются замеры. Результаты расчета представлены на рис. 5. Рис. 5 - Распределение плотностей токов по длине обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» при силе тока защиты 6 и 12 А Анализ результатов, представленных на рис. 5, свидетельствует о том, что эксплуатационная колонна по всей глубине находится под катодной защитой за исключением анодных участков в интервале глубин 300-350 и 800-850 м. Плотность анодного тока для первого интервала составила 0,0057 и 0,014 А/м<sup>2</sup>, для второго - 0,0011 и 0,0049 А/м<sup>2</sup> для токов защиты 6 и 12 А соответственно. Выводы 1. Предложена методика расчета распределения плотности тока защиты по глубине обсадной колонны нефтяной скважины, учитывающая площадь поперечного сечения составляющих колонны. 2. Приведен пример расчета распределения плотности тока защиты по глубине для обсадной колонны скважины № 22505 НГДУ «Бавлынефть» ОАО «Татнефть». 3. Установлено наличие анодных зон на поверхности эксплуатационной колонны на глубинах 300-350 и 800-850 м.