



DOI: 10.18721/JEST.230210

УДК 621.311.22(075.8)

Е.Н. Рузич, В.Г. Киселев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ СОГЛАСНО DIN 30676 НА КАТОДНУЮ ЗАЩИТУ ТРУБОПРОВОДА

Произведен анализ и систематизация основных факторов, определяющих параметры катодной защиты подземных металлических коммуникаций (ПМК). Наиболее полно и подробно рассмотрено влияние на антикоррозионную защиту энергетических трубопроводов подготовительных мероприятий в соответствии DIN 30676, среди которых рассмотрены мероприятия по улучшению качества изоляции (увеличение электрического сопротивления покрытий и обеспечение их целостности), обеспечению высокой продольной проводимости трубопроводов, устранению контактов подземных металлических сооружений с другими заземленными сооружениями. На базе проведенных исследований предложены практические рекомендации по снижению потерь мощности в системах катодной защиты. Подтверждено, что для повышения эффективности отечественных подземных металлических трубопроводов энергетических систем целесообразно использовать мероприятий из DIN 30676, посвященных проектированию антикоррозионной защиты.

КОРРОЗИЯ; ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ; КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ; ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ; ЗАЩИТА ОТ НАРУЖНОЙ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ.

Ссылка при цитировании:

Е.Н. Рузич, В.Г. Киселев. Влияние подготовительных мероприятий согласно DIN 30676 на катодную защиту трубопровода // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 2. С. 101–108. DOI: 10.18721/JEST.230210

E.N. Ruzich, V.G. Kiselev

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, Saint-Peterburg, Russian Federation

INFLUENCE OF PREPARATORY MEASURES IN ACCORDANCE WITH THE DIN 30676 STANDART ON THE CATHODIC PROTECTION OF POWER PIPELINES

The paper presents the results of analysis and systematization of the main factors determining the cathodic protection parameters of underground metal communications. The most comprehensive and detailed consideration was given to the influence of preparatory measures in accordance with DIN 30676 on anti-corrosive protection of power pipelines. These measures included: improving the insulation quality (increasing the electrical resistance of coatings and ensuring their integrity), ensuring the high longitudinal conductivity of pipelines, eliminating the contacts of underground metal structures with other grounded structures. Practical recommendations for reducing power losses in cathodic protection systems are proposed on the basis of the conducted research. Additionally, we have confirmed the expediency of using measures from DIN 30676, dedicated to the design of anti-corrosive protection, for improving the efficiency of national underground metal pipelines of power systems.

CORROSION; ELECTROCHEMICAL CORROSION; CATHODIC CORROSION PROTECTION; ELECTROCHEMICAL CORROSION PROTECTION; CORROSION PROTECTION OF UNDERGROUND METAL COMMUNICATIONS.

Citation:

E.N. Ruzich, V.G. Kiselev, Influence of preparatory measures in accordance with the DIN 30676 standart on the cathodic protection of power pipelines, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology, 23 (02) (2017) 101–108, DOI: 10.18721/JEST.230210

Введение

При разработке, строительстве и эксплуатации энергетических объектов различного типа существенную роль играет их коррозионная стойкость. Данная проблема особенно актуальна для подземных трубопроводов (тепловые сети, газопроводы, электрические кабели и др.).

Следует отметить, что некоторые виды антикоррозионной защиты, в частности электрохимическая защита, сами по себе могут быть факторами агрессивности. Так, например, в процессе нормальной работы катодной защиты генерируются блуждающие токи, которые способствуют разрушению соседних металлических сооружений.

Последние годы характеризуются резким ростом отказов, возникающих при эксплуатации подземных металлических коммуникаций (ПМК), в первую очередь — по причине их коррозии, что приводит к увеличению затрат на их ремонт, обслуживание и замену. Следует отметить: аварии являются и фактором повышения социальной напряженности в обществе, что особенно характерно для крупных городов. Цель нашей работы — количественно подтвердить целесообразность применения стандарта DIN 30676 в условиях РФ и необходимость учета его рекомендаций в новых редакциях соответствующих ГОСТов, если обновления таковых предусмотрены.

Основные направления работ по повышению эффективности катодной защиты ПМК

В соответствии с ГОСТ 9.602–2005¹ и ГОСТ Р 51164–98² критерием технической эффективности комбинированной защиты от коррозии, включающей как защитное антикоррозионное покрытие, так и электрохимическую

¹ ГОСТ 9.602–2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Москва: Стандартинформ, 2006.

² ГОСТ Р 51164–98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. Москва: Госстандарт России, 1998.

защиту (ЭХЗ), служит выполнение двух групп условий:

1) требований к защитному покрытию (качество антикоррозионных материалов, технологии нанесения покрытия, технология строительных работ, свойства готового покрытия);

2) требований к величине защитного потенциала без его омической составляющей (поляризационного потенциала), который, как правило, должен находиться в пределах от $-0,85$ В до $-1,15$ В по медно-сульфатному электроду сравнения в течение всего срока службы объекта при наличии у него электрохимической защиты.

Однако, несмотря на предписания пунктов 6.8 и 6.9 в ГОСТ 9.602–2005¹ о мероприятиях по безусловному обеспечению высокого качества покрытий, состояние изоляции ПМК, как показывает практика, оставляет желать лучшего. Более того, данный нормативный документ вообще не регламентирует такие важные параметры подземных коммуникаций, как состояние продольной проводимости трубопровода и наличие у него контактов с другими заземленными сооружениями. Это обстоятельство резко контрастирует, например, со стандартом DIN 30676³, в котором прямо указывается на необходимость проводить следующие мероприятия для повышения эффективности катодной защиты:

улучшение качества диэлектрического покрытия;

обеспечение высокой продольной проводимости трубопровода;

устранение контактов с другими заземленными сооружениями.

С учетом DIN 30676³ основные мероприятия по повышению эффективности катодной защиты, оказывающие непосредственное влияние, в том числе и на срок службы подземных металлических коммуникаций, целесообразно разбить на две основные группы, включающие ряд подгрупп.

³ DIN 30676. Planung, Errichtung und Betrieb des kathodischen Korrosionsschutzes für den Außenschutz erdverlegter Anlagen. 1985.

1. Мероприятия собственно на ПМК, снижающие потребление тока системой катодной защиты:

1.1) улучшение качества изоляции за счет мероприятий по увеличению электрического сопротивления покрытий и мероприятий по обеспечению их целостности;

1.2) обеспечение высокой продольной проводимости трубопроводов;

1.3) устранение контактов ПМС с другими заземленными сооружениями.

2. Мероприятия по снижению потерь в самой системе катодной защиты, включая:

2.1) потери в цепи переменного (питающего) тока, связанные с доставкой его к выпрямителю для катодной защиты ПМС;

2.2) потери, связанные с преобразованием переменного электрического тока в постоянный ток;

2.3) потери, связанные с излишне высоким защитным потенциалом ПМК, прежде всего обусловленные недостаточной эффективностью системы регулировки защитного потенциала;

2.4) потери в диодно-резисторном блоке (БДР) при совместной защите нескольких ПМС;

2.5) потери в цепи защитного (постоянного) тока.

Отметим, что достаточно подробный анализ основных факторов второй группы мероприятий приведен в работе [1], поэтому в данной статье сконцентрируемся, прежде всего, на рассмотрении мероприятий первой группы. Очевидно, что корректное сравнение различных вариантов катодной защиты возможно только при расчетах ее параметров на единицу защищаемой поверхности ПМК. Основываясь на этом простом правиле, проведем данный анализ, ориентируясь на мощность, затрачиваемую катодной установкой для защиты единицы поверхности трубопровода.

Мероприятия на ПМК, снижающие потребление электроэнергии системой катодной защиты

Аналізу процессов, протекающих в системе катодной защиты, в последнее время уделяется большое внимание. Так, например, в справочнике [2] проведен расчет мощности в цепи постоянного тока для морских сооружений (шпунтовая стена) с использованием следующей формулы:

$$W = R_{Kreiss} i_s^2 A^2 + 2i_s AP + P^2 / R_{Kreiss}, \quad (1)$$

где W — мощность по постоянному току, расходуемая на катодную защиту; i_s — плотность защитного тока; A — площадь защищаемой поверхности; P — смещение поляризационного потенциала защищаемой поверхности; R_{Kreiss} — омическое падение напряжения на всех элементах цепи защитного тока (в данной формуле отдельно не учитывается анодная поляризация), за исключением поляризационного сопротивления защищаемого сооружения.

Принимая во внимание то, что наиболее корректной характеристикой эффективности катодной защиты служит параметр, определяющий расход мощности P на единицу поверхности защищаемого сооружения, можно записать следующее выражение:

$$P = \frac{W}{A}. \quad (2)$$

С другой стороны, очевидно, что формула (1), необходимая для начального анализа эффективности катодной защиты трубопроводов, может быть существенно упрощена, несколько модернизирована и приведена к следующему виду:

$$W = R_K I_s^2, \quad (3)$$

где I_s — величина защитного тока, расходуемого на катодную защиту трубопровода, а R_K — омическое сопротивление всех элементов цепи защитного тока, включая и поляризационное сопротивление защищаемого сооружения.

В свою очередь, комбинация формул (2) и (3) позволяет записать следующее выражение, характеризующее мощность P , расходуемую в цепи постоянного тока системы катодной защиты на защиту единицы поверхности ПМК:

$$P = \frac{W}{A} = \frac{R_K I_s^2}{A}. \quad (4)$$

Учитывая определение плотности тока, т. е. наличие соотношения

$$I_s = A i_s, \quad (5)$$

формулу (4) можно представить в следующем виде:

$$P = R_K A i_s^2. \quad (6)$$

Если ПМК — это трубопровод, то его защищаемая площадь A будет определяться формулой

$$A = 2L\pi d, \quad (7)$$

где d — диаметр трубопровода, а $2L$ — протяженность его защитной зоны.

Таким образом, вместо формулы (6) можем записать

$$P = R_K 2L\pi d i_s^2. \quad (8)$$

В то же время известно, что защитная зона трубопровода при омическом падении потенциала в ней, равном $\Delta U = 0,3$ В, определяется следующим соотношением [6]:

$$2L = \sqrt{\frac{8\Delta U s}{\rho_s i_s}} = 1,55 \sqrt{\frac{s}{\rho_s i_s}}. \quad (9)$$

Данное обстоятельство позволяет преобразовать формулу (8) к виду

$$P = 4,86 R_K \sqrt{\frac{s}{\rho_s}} d i_s^{3/2}. \quad (10)$$

В дальнейших вычислениях примем, что толщина стенки трубопровода s составляет 0,01 м, диаметр трубопровода d равен 1 м, а удельное сопротивление материала (стали) ρ_s , из которого изготовлен трубопровод, составляет $0,18 \cdot 10^{-6}$ Ом·м [5]. Тогда формулу (10) можно преобразовать к следующему виду:

$$P = 1,15 \cdot 10^3 R_K i_s^{3/2}. \quad (11)$$

Влияние отдельных составляющих R_K на мощность, расходуемую в цепи постоянного тока системы катодной защиты на единицу площади подземного трубопровода, достаточно подробно рассмотрено нами ранее [1]. Для анализа зависимости удельной мощности P от плотности тока i_s с целью дальнейшего упрощения рассуждений примем, что величина R_K постоянна и соответствует средним значениям токов и напряжений для установки катодной защиты в условиях Санкт-Петербурга; это позволяет оценить ее величину в 5 Ом [4]. Примем это значение для дальнейших вычислений с использованием формулы (11) и определим изменение величины P как функции состояния изоляции трубопровода, определяемой величиной плотности защитного тока i_s [3], а результаты вычислений поместим в табл. 1.

Из анализа данной таблицы непосредственно следует, что мероприятия группы 1.1, направленные на снижение плотности защитного тока, — крайне эффективный способ уменьшения как электрической мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода, так и величины блуждающих токов, генерируемых системой катодной защиты.

Действия по снижению плотности защитного тока, в свою очередь, можно разбить на две группы, а именно на мероприятия по снижению количества дефектов на ПМК и мероприятия по увеличению электрического сопротивления покрытия. Следует отметить, что в реальных

Таблица 1

Зависимость мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода, от величины плотности защитного тока

Table 1

The dependence of the power consumed per one square meter of the pipeline on value of the protective current density

$i_s, \frac{A}{m^2}$	$W, Вт$	$P, \frac{Вт}{m^2}$	$2L, м$
10^{-6}	6,57	$5,73 \cdot 10^{-6}$	365 148
10^{-5}	$6,57 \cdot 10^1$	$1,81 \cdot 10^{-4}$	115 470
10^{-4}	$6,57 \cdot 10^2$	$5,73 \cdot 10^{-3}$	36 515
10^{-3}	$6,57 \cdot 10^3$	$1,81 \cdot 10^{-1}$	11 547
10^{-2}	$6,57 \cdot 10^4$	5,73	3 651
10^{-1}	$6,57 \cdot 10^5$	$1,81 \cdot 10^2$	1 155

условиях оба эти сопротивления — сопротивление покрытия и сопротивление дефектов — включены параллельно друг другу и при наличии современной качественной изоляции влиянием сопротивления покрытия в силу его очень большой величины обычно пренебрегают [5], т. е. считают, что практически весь защитный ток течет через дефекты покрытия. Данное обстоятельство позволяет утверждать, что плотность защитного тока в силу своей чувствительности к количеству дефектов и их размерам, по-существу, является критерием эффективности мероприятий по качеству изоляции при защите ПМС от коррозии. Вместе с тем, как это отмечено в пунктах 1.2 и 1.3 в предыдущем разделе, на величину P оказывают влияние и другие параметры системы катодной защиты. Рассмотрим их подробнее. Для этого нам вновь придется вернуться к формуле (7) и более детальному анализу величины зоны защиты трубопровода ($2L$), которая определяется, как мы выяснили ранее, формулой (9).

Учет влияния через величину $2L$ продольной проводимости трубопровода и наличия контактов с заземленными сооружениями на площадь защищаемой поверхности трубопровода может быть осуществлен, например для фактора продольной проводимости, через некоторое локальное дополнительное сопротивление трубопровода. Величина падения потенциала в зоне защиты, вызванная, например, наличием теплового компенсатора, оценивается исходя из практики работы авторов в среднем в 0,1 В. При этом очевидно, что если данное локальное увеличение сопротивления находится в конце защитной зоны, то оно не оказывает практически никакого влияния на ее величину в силу того, что в этой области ток, протекающий через трубопровод, практически равен нулю. Напротив, в случае нахождения зоны с аномально высоким сопротивлением в непосредственной близости от точки дренирования через него течет максимально возможный ток, протекающий через трубопровод, практически равный $I_s/2$, что приводит к аномально большому падению напряжения на данном сопротивлении. Пусть это падение напряжения составит $U_R = 0,1$ В на каждом из двух дополнительных сопротивлений, расположенных в двух разных «плечах» зоны защиты. Это приведет к соответствующему снижению ее

величины, учитывая, что общее падение потенциала по-прежнему должно составлять 0,3 В на каждом из двух разных «плеч». В этом случае протяженность зоны защиты трубопровода, очевидно, можно определить, подставив $\Delta U = 0,2$ В в формулу (9):

$$2L_{0,2} = \sqrt{\frac{8\Delta U s}{\rho_s i_s}} = 1,27 \sqrt{\frac{s}{\rho_s i_s}}. \quad (12)$$

Таким образом, мы получаем зону защиты $2L_{0,2}$, которая уступает по протяженности зоне защиты без дополнительного локального сопротивления.

Выясним, как при тех же значениях плотности тока, что и в первом случае, изменится требуемая мощность. Распишем формулу (3) с учетом (5) для определения мощности:

$$\begin{aligned} W &= W_{0,2} + W_R = R_k I_{0,2}^2 + 2U_R I_{0,2} = \\ &= R_k i_s^2 A_{0,2}^2 + 2U_R i_s A_{0,2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $W_{0,2}$ — мощность, требуемая для защиты трубопровода длиной $2L_{0,2}$; W_R — потеря мощности на дополнительных сопротивлениях; $I_{0,2}$ — ток, текущий в цепи катодной защиты при $2L_{0,2}$; $A_{0,2}$ — площадь защищенной части трубопровода при $2L_{0,2}$.

Заменим в формуле (7) $2L$ на $2L_{0,2}$ и, подставив в (13) выражение для $A_{0,2}$, найдем зависимость мощности от плотности защитного тока:

$$W = 4,38 \cdot 10^6 i_s + 1,87 \cdot 10^2 i_s^{1/2}. \quad (14)$$

Проведем вычисления с использованием формулы (14), а их результаты поместим в табл. 2. Непосредственный анализ формулы (14) показывает, что мощность, теряемая на дополнительном сопротивлении, крайне мала и практически не влияет на общую величину W .

Воспользуемся формулой (4). Тогда получим следующее выражение для мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода, при падении потенциала на нем, равном 0,2 В (наличие дополнительных сопротивлений):

$$P = \frac{W}{A_{0,2}} = R_k A_{0,2} i_s^2 + 2U_R i_s. \quad (15)$$

Приведем последнее соотношение с учетом формулы (14) к следующему виду:

$$P = 4,68 \cdot 10^3 i_s^{3/2} + 0,2 i_s. \quad (16)$$

Таблица 2

Зависимость мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода, от величины плотности защитного тока при наличии локального сопротивления в цепи трубопровода

Table 2

The dependence of the power consumed per one square meter of the pipeline on value of the protective current density in the presence of local resistance in the pipeline

$i_s, \frac{A}{m^2}$	$W, Вт$	$P, \frac{Вт}{m^2}$	$2L, м$
10^{-6}	4,57	$4,88 \cdot 10^{-6}$	298 140
10^{-5}	$4,44 \cdot 10^1$	$1,50 \cdot 10^{-4}$	94 280
10^{-4}	$4,40 \cdot 10^2$	$4,70 \cdot 10^{-3}$	29 814
10^{-3}	$4,39 \cdot 10^3$	$1,48 \cdot 10^{-1}$	9 428
10^{-2}	$4,38 \cdot 10^4$	4,68	2 981
10^{-1}	$4,38 \cdot 10^5$	$1,48 \cdot 10^2$	943

Воспользуемся последним соотношением для определения P , а полученные результаты поместим в табл. 2.

Из анализа данной таблицы следует, что мероприятия группы 1.2, направленные на снижение продольного сопротивления трубопровода, — крайне эффективный способ снижения мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода.

Рассмотрим влияние фактора «мероприятия по устранению контактов ПМС с другими заземленными сооружениями» на мощность, расходуемую системой катодной защиты на единицу поверхности трубопровода. Будем считать, что общее входное сопротивление ПМК в соответствии с критерием NACE [6] ориентировочно равно 0,1 Ом. Кроме того, примем, что у трубопровода имеются два контакта с металлическими сооружениями, расположенными в грунте, каждое из которых имеет сопротивление растекания равное 0,2 Ом, и что эти контакты находятся практически в точке дренирования.

В силу параллельного подключения сопротивлений (два плеча трубопровода и два металлических сооружения, контактирующих с трубопроводом) общий защитный ток, текущий на ПМС, при той же мощности установки катодной защиты сократится в два раза, что приведет к сокращению зоны защиты трубопровода при

сохранении той же плотности защитного тока. Установка изолирующих фланцев в конце сокращенной зоны защиты позволит исключить потери тока в трубопроводе в той его части, где отсутствует защитный потенциал. Очевидно, что в этом случае и протяженность защитной зоны также уменьшится в два раза. Основываясь на этих данных, рассчитаем зависимость мощности, расходуемой катодной защитой на один квадратный метр трубопровода при принятых нами условиях простым умножением значений строки P табл. 1 на два, а результаты вычислений поместим в табл. 3. Очевидно, что смещение точек контакта от точки дренирования вглубь обеих «половинок» зоны защиты в силу дополнительного падения потенциала по длине трубопровода и сокращения зоны защиты повлечет за собой только нарастание мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода системой катодной защиты. Более детальный анализ данного явления вряд ли возможен в рамках данной работы в силу ограниченности ее объема.

Из анализа табл. 3 непосредственно следует, что мероприятия группы 1.3, направленные на устранение контактов трубопровода с другими заземленными сооружениями, являются крайне эффективным способом снижения мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода.

Таблица 3

Зависимость мощности, расходуемой на один квадратный метр трубопровода от величины плотности защитного тока при наличии контакта трубопровода с заземленными сооружениями

Table 3

The dependence of the power consumed per one square meter of the pipeline on value of the protective current density in the presence of a pipeline contact with earthed structures

$i_s, \frac{A}{m^2}$	$W, Вт$	$P, \frac{Вт}{m^2}$	$2L, м$
10^{-6}	6,57	$1,15 \cdot 10^{-5}$	182 574
10^{-5}	$6,57 \cdot 10^1$	$3,63 \cdot 10^{-4}$	57 735
10^{-4}	$6,57 \cdot 10^2$	$1,15 \cdot 10^{-2}$	18 257
10^{-3}	$6,57 \cdot 10^3$	$3,63 \cdot 10^{-1}$	5 774
10^{-2}	$6,57 \cdot 10^4$	1,15 · 10	1 826
10^{-1}	$6,57 \cdot 10^5$	$3,63 \cdot 10^2$	577

Обсуждение результатов

Анализ отечественных нормативных документов в области катодной защиты от коррозии ^{4,5} показывает практически полное отсутствие в них требований по осуществлению подготовительных мероприятий с целью повышения качества комбинированной защиты от почвенной коррозии. В то же время один из основных европейских стандартов в этой сфере — DIN 30676 — прямо указывает ряд предварительных действий, которые необходимо осуществить с целью обеспечения надлежащей катодной защиты, прежде всего — подземных энергетических трубопроводов. В рамках нашей работы показана необходимость внедрения подготовительных мероприятий в области катодной

защиты, соответствующих стандарту DIN 30676, в отечественную практику защиты от коррозии ряда энергетических объектов. Кроме того, приведены практические расчеты по снижению потребления тока системами катодной защиты. Следует отметить, что мероприятия по снижению потребления тока системой катодной защиты одновременно являются и мероприятиями по снижению величины блуждающих токов, генерируемых ею в грунте, борьба с которыми, особенно в условиях крупных городов, крайне актуальна.

Выводы

На базе анализа нормативных документов и проведенных расчетов установлена целесообразность использования мероприятий, соответствующих стандарту DIN 30676, в отечественной практике катодной защиты как для повышения надежности системы катодной защиты, так и для снижения величины блуждающих токов, обусловленных ею.

⁴ РД 153–39.4–091–01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2002.

⁵ РД 153–34.0–20.518–2003. Типовая инструкция по защите тепловых сетей от наружной коррозии. М.: Изд-во «Новости Теплоснабжения», 2002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.Г. Снижение потребления тока установками катодной защиты от коррозии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 4 (183). Т. 1. С. 93–99.

2. Bette U., Vesper W. Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz. Essen: Vulkan-Verl., 2005. 367 s.

3. **Von Baeckmann W.** Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz. Essen: Vulkan-Verl., 1992. 337 s.

4. **Киселев В.Г.** Информационное и технологическое обеспечение электрохимической защиты трубо-

проводов: Монография. СПб.: Изд-во «Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций», 1999. 142 с.

5. **Baekmann W., Schwenk W.** Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. Verlag Chemie. 1980. 465 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

РУЗИЧ Евгений Николаевич — специалист НИЛ промышленной теплоэнергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: rouzith@mail.ru

КИСЕЛЕВ Владимир Геннадьевич — доктор технических наук профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: kis_vg@mail.ru

REFERENCES

1. **Kiselev V.G.** Snizheniye potrebleniya toka ustanovkami katodnoy zashchity ot korrozii // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti. SPbGPU. 2013. № 4(183). Т. 1. S. 93–99. (rus.)

2. **Bette U., Vesper W.** Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz. Essen: Vulkan-Verl., 2005. 367 s.

3. **Von Baeckmann W.** Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz. Essen: Vulkan-Verl., 1992. 337 s.

4. **Kiselev V.G.** Informatsionnoye i tekhnologicheskoye obespecheniye elektrokhimicheskoy zashchity truboprovodov: Monografiya. SPb.: Izd-vo «Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta vodnykh kommunikatsiy», 1999. — 142 s. (rus.)

5. **Baekmann W., Schwenk W.** Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. Verlag Chemie. 1980. 465 s.

AUTHORS

RUZICH Evgenii N. — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: rouzith@mail.ru

KISELEV Vladimir G. — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: kis_vg@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 05.07.2016.