

УДК 624.131.3

Инженерные изыскания. К вопросу проведения зимних электрометрических работ

А.М. Пушкарёв^{1*}, Н.Н. Глазов¹, И.Ю. Копьев¹, М.Ю. Лексиков², Д.Ю. Фёдоров²

¹ ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российская Федерация, 142717, Московская обл., Ленинский р-н, с.п. Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый пр-д № 5537, вл. 15, стр. 1

² ПАО «ВНИПИГаздобыча», Российская Федерация, 410012, г. Саратов, ул. Сакко и Ванцетти, д. 4

* E-mail: A_Pushkarev@vniigaz.gazprom.ru

Ключевые слова:
коррозия,
электрохимическая
защита,
защитный
потенциал,
удельное
электрическое
сопротивление
грунта,
блуждающий ток,
температура грунта.

Тезисы. Любые строительство или реконструкция сооружений нефтегазового комплекса ведутся в соответствии с проектными решениями, которые основываются на данных инженерных изысканий. В зависимости от сочетания внешних факторов принимаются те или иные технические решения, в том числе по системе противокоррозионной защиты подземных стальных сооружений. Качество электрометрических работ, проведенных в рамках инженерных изысканий, напрямую влияет на стоимость и эффективность системы противокоррозионной защиты подземных стальных трубопроводов.

Действующими российскими нормативными документами определены требования к инженерным изысканиям для строительства, которые должны обеспечивать получение необходимых данных о природных и техногенных условиях и прогнозирование их изменения с детальностью, достаточной для разработки проектных решений [1]. Таким образом, в объем инженерно-геологических изысканий должно входить комплексное изучение участка строительства, включая состояние и свойства грунтов, их сезонное изменение, в том числе определение глубины сезонного промерзания и коррозионной агрессивности.

Свод правил СП 47.13330.2012 [1] не содержит рекомендаций по срокам проведения геофизических (электрометрических) работ, при этом указано, что объемы и сроки работ определяет технический заказчик. Статьей 47 Градостроительного кодекса РФ определено, что выполнение отдельных видов инженерных изысканий (их состав, объем и методы) устанавливает программа, разработанная на основе задания технического заказчика, с учетом условий, характерных для участка строительства, в том числе и климатических. В СНиП 1.02.07-87 [2] присутствовало указание на необходимость учета сезонности в регионе изысканий при разработке программы работ, которая должна предусматривать стационарные наблюдения продолжительностью не менее одного года или сезона проявления процесса. Применительно к оценке свойств грунтов данное требование распространялось на определение характеристик грунтов в замершем и растепленном состояниях.

Рассмотрим сезонность проведения инженерных изысканий с позиций получения исходных данных для проектирования системы электрохимической защиты, в частности, определения удельного электрического сопротивления грунта по трассе трубопровода и на участке расположения анодного заземления, естественного потенциала стали по трассе трубопровода, наличия на участках блуждающих и индуцированных токов. Следует отметить, что показатель катодной плотности тока в соответствии с методикой ГОСТ 9.602¹ определяется в лабораторных условиях и не зависит от сезона измерений.

Зачастую из-за длительных процедур выбора исполнителя инженерных изысканий время на выполнение работ сокращается и может переместиться на зимне-весенний период. Учитывая расположение регионов, в которых в настоящий момент

¹ См.: ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

ведутся изыскательские работы для нужд нефтегазового комплекса, следует отметить значительную продолжительность зимнего периода – до 7 месяцев в году.

Безусловно, существуют аргументы в пользу проведения изысканий в зимний период. Такими аргументами являются и возможность использования автомобильной транспортной техники в труднодоступных участках трассы, и оптимизация логистики, и увеличение темпов изысканий при использовании транспорта, и снижение затрат на доставку оборудования и персонала. Все указанные плюсы в полной мере раскрываются при выполнении работ в пойменных, заболоченных и удаленных от цивилизации районах.

При подсчитывании средств, сэкономленных благодаря планируемому зимним изысканиям, следует разделять работы, результаты которых не зависят от климатических условий, и зависящие напрямую от температуры, при которой проводятся измерения. К первой группе относятся геодезические работы, пространственная привязка трассы, бурение скважин для оценки состава грунта и определения уровня грунтовых вод и др. Авторы попытались экспериментально выявить риски использования данных зимних изысканий для проектирования системы электрохимической защиты (ЭХЗ), моделируя условия замершего грунта и его растепления.

Методика эксперимента

В качестве модельного грунта использовался песок, увлажненный 3%-ным раствором NaCl, при температуре +15 °С удельное электрическое сопротивление грунта составляло

500 Ом·м. Полимерную емкость с модельным грунтом помещали на 24 ч в климатическую камеру при температуре минус 25 °С. Предварительно в модельный грунт вертикально вводили два стальных электрода диаметром 3 мм и длиной 150 мм, которые выступали на 20 мм над уровнем грунта. При замерзании грунт и электроды составляли монолит, который помещали в емкость большего объема с модельным грунтом, имеющим температуру 18 ± 3 °С (рис. 1). Мерзлый монолит (см. рис. 1б) представлял собой область с особыми физическими свойствами, параметры которой определялись в процессе экспериментов в сравнении с параметрами грунта при комнатной температуре.

Схемы экспериментов для определения степени влияния состояния (температуры) грунта на результаты измерений, моделирующих электрометрические работы в замершем грунте, представлены на рис. 2.

Комплекс измерений каждого параметра проводили до полного растепления замершего грунта. Температуру грунта измеряли тепловизором (на поверхности) и лабораторным термометром (в середине монолита). Поскольку эксперименты проводили при комнатной температуре и объем «теплого» грунта был примерно в пять-шесть раз больше объема замершего, то процесс растепления грунта до температуры 0 °С длился около 2 ч (рис. 3). Безусловно, в реальных грунтах градиент температур не так значителен и не имеет выраженной границы, а объемы контактирующих грунтов с разной температурой условно одинаковы, что обуславливает большую инерционность процесса растепления замершего грунта.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной емкости (а) с фрагментом замороженного грунта (б)

Температура грунта определяет его электрическую проводимость. Удельное электрическое сопротивление мерзлого грунта температурой ниже минус 3 °С будет в несколько раз превышать аналогичный показатель обычного незамерзшего грунта (рис. 4). При дальнейшем снижении температуры грунта снижение его электрической проводимости происходит по экспоненциальному закону, и при температуре, близкой к минус 10 °С, значение удельного электрического сопротивления грунта уже превышает

20 кОм·м и выходит из измерительного диапазона общеупотребительных средств измерений (измерителей заземлений). Очевидно, что при определении коррозионной агрессивности грунта, находящегося в замерзшем состоянии, результаты измерений дадут более благоприятную картину, чем в отношении того же грунта при положительных температурах.

В реальных условиях вследствие большой массы грунта и его низкой теплопроводности внешне кажущийся растаявшим ранней весной

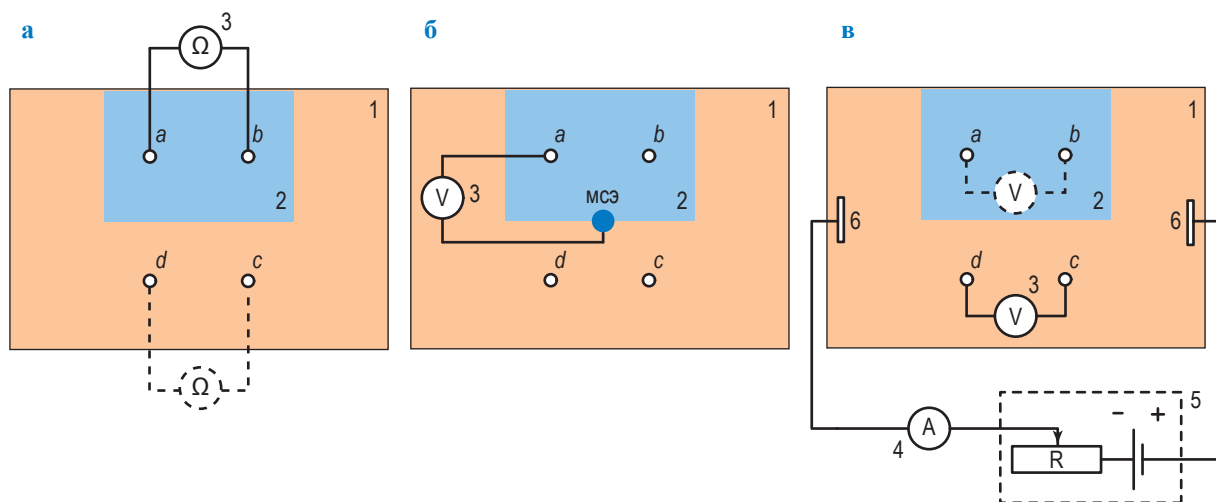


Рис. 2. Схемы измерений удельного электрического сопротивления грунта (а), потенциала стальных электродов (б), блуждающих токов в грунте (в):

1 – участок грунта комнатной температуры (+18 °С); 2 – участок замороженного (–16 °С) грунта; 3 – средство измерений (измеритель заземлений или милливольтметр); 4 – миллиамперметр постоянного тока; 5 – регулируемый источник постоянного тока; 6 – электроды – имитаторы блуждающего тока; а, б, с, d – стальные измерительные электроды; МСЭ – медносульфатный электрод сравнения

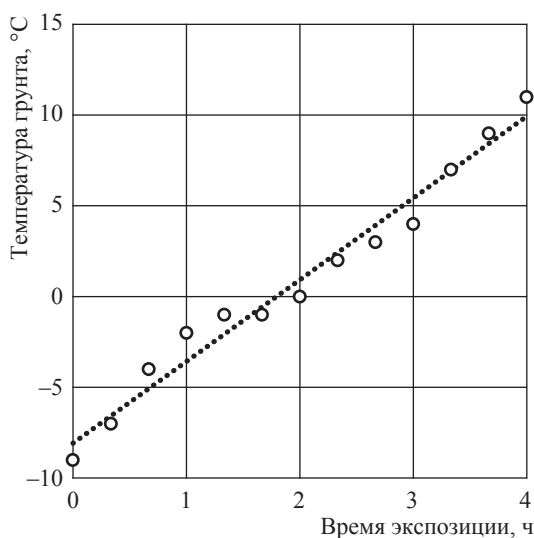


Рис. 3. Скорость растепления модельного грунта

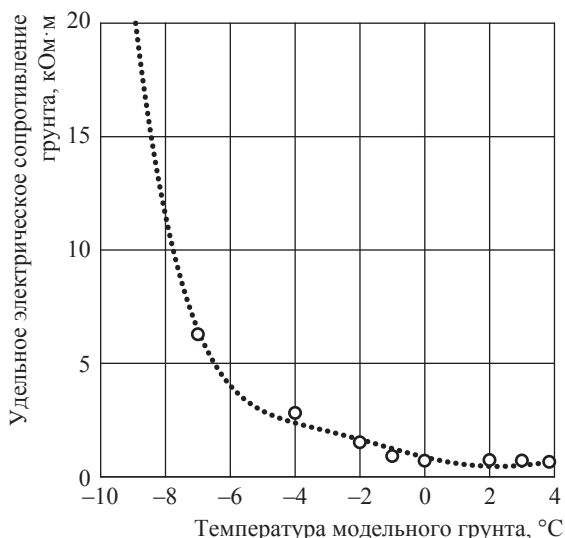


Рис. 4. Зависимость электрической проводимости грунта от температуры

насыщенный влагой поверхностный слой грунта может иметь незначительную толщину (0,1...0,3 м), а под ним будет располагаться замерзший слой. Поскольку при изысканиях следует определять удельное электрическое сопротивление грунта на глубине укладки трубопровода (до 2 м), то при планировании измерений нужно учитывать широтные особенности скорости растепления грунта. Как показали результаты экспериментов, потенциал стального электрода, расположенного в замершем грунте, измеренный относительно МСЭ, на 60...80 мВ положительнее потенциала стального электрода, находящегося в растепленном грунте (рис. 5). А если учесть тот факт, что электрод сравнения располагался в грунте температурой +11 °С (см. рис. 2б) и мог выступать в качестве опорной точки для измерения потенциала, то в замороженном грунте градиент потенциалов может составлять 130 мВ и выше и будет определяться проводимостью медного купороса в объеме электрода сравнения.

Потенциал стальных электродов в замороженном грунте, находящихся в поле постоянного тока, имитирующего блуждающие токи в земле, также зависит от температуры грунта. Выявлена зависимость увеличения (по абсолютной величине) разности потенциалов двух стальных электродов относительно друг друга (измерения с помощью МСЭ). При моделировании блуждающего тока (см. схему на рис. 2в) потенциалы стальных электродов a и b ведут себя разнонаправленно (см. $a_{\text{пол}}$ и $b_{\text{пол}}$ на рис. 5),

и направление смещения потенциала определяется близостью к катоду или аноду источника токов в земле, при этом расположение МСЭ остается неизменным.

Экспериментально выявлено, что при температуре минус 2 °С и ниже потенциалы электродов, находящихся в поле постоянного тока, более чем на 200 мВ отличаются от потенциалов, измеренных в растепленном грунте. Данную величину можно назвать «ошибкой в измерении», которая зависит только от изменяющегося при отрицательных температурах показателя удельного электрического сопротивления грунта. Следовательно, выявленная «ошибка» будет присутствовать при измерении градиента напряжений при определении наличия блуждающих токов методом креста и оценке его потенциальной опасности. На рис. 6 представлено подтверждение этого предположения. При измерении градиента постоянного тока между электродами (см. рис. 2в) выявлено увеличение градиента в замершем грунте практически на 50 % относительно растепленного грунта (+3...+8 °С). Поскольку при эксперименте все параметры, кроме температуры грунта, оставались неизменными, то выявленный эффект можно связать с увеличением сопротивления растеканию тока стальных электродов, которое пропорционально удельному электрическому сопротивлению грунта.

Если воспользоваться результатами измерений, полученными в грунте температурой ниже минус 5 °С, то можно сделать вывод,

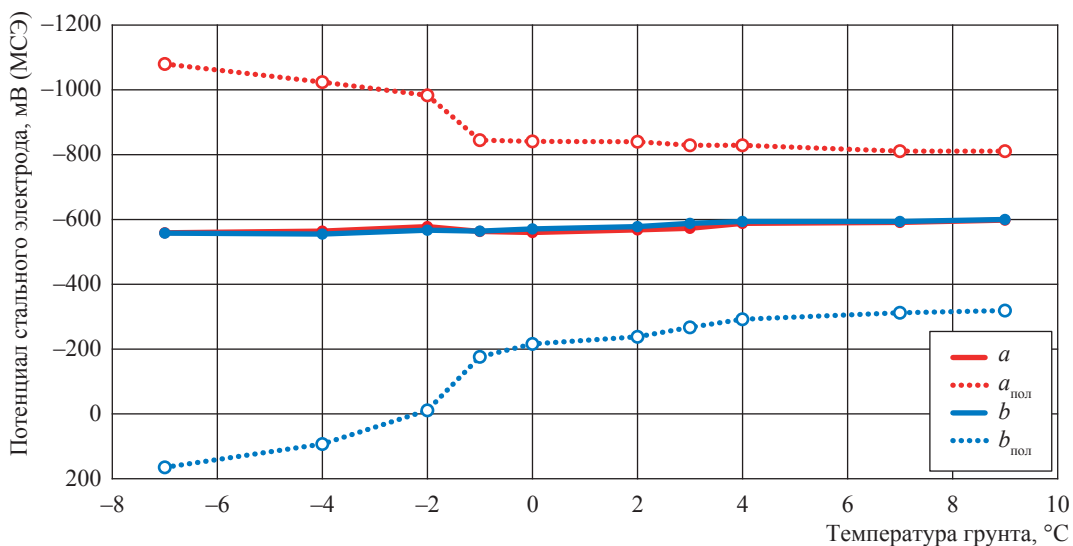


Рис. 5. Зависимость изменения потенциала стального электрода от температуры грунта: пунктирные линии – смещение потенциалов в поле постоянного тока (5,5...6,3 мА)

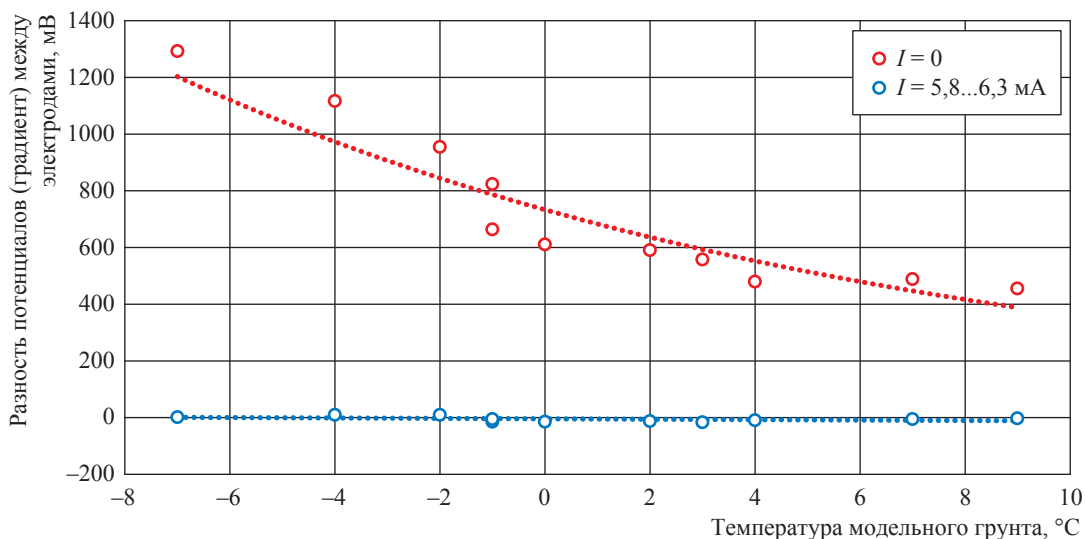


Рис. 6. Изменение градиента между электродами в зависимости от температуры грунта и силы тока (I) поляризации

что на участке выявлено опасное влияние блуждающих токов. Далее при проектировании будут заложены избыточные технические решения по снижению блуждающих токов, которые повлекут за собой дополнительные затраты на оборудование и строительные работы. В итоге заказчик понесет лишние и неоправданные расходы, а организация – исполнитель инженерных геофизических изысканий получит экономию за счет факторов, отмеченных в начале статьи.

Проведенные эксперименты доказывают, что результаты измерений блуждающих токов в земле и удельного сопротивления грунта в зимних условиях и в грунтах с полностью или частично замерзшим электролитом могут значительно отличаться от результатов измерений, проведенных в растепленном грунте. Следовательно, при проектировании

существует риск некорректного выполнения расчетов в отношении элементов системы ЭХЗ и ошибочной оценки коррозионной опасности на участке.

Недопустимо использовать данные инженерных изысканий, полученные только в зимний период, для оценки коррозионной агрессивности грунта и проектирования системы ЭХЗ. Для минимизации будущих рисков заказчика данные геофизических изысканий и сформированные на их основе проектные решения следует принимать только с материалами, подтверждающими сроки проведения изысканий в период, исключающий промерзание грунтов на глубине эксплуатации сооружения.

Список литературы

1. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
2. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства.

Engineering survey. To a question of winter electrometric works

A.M. Pushkarev^{1*}, N.N. Glazov¹, I.Yu. Kopyev¹, M.Yu. Leksikov², D.Yu. Fedorov²

¹ Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Estate 15, Proyektiruemyy proezd no. 5537, Razvilka village, Leninskiy district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

² VNIPIgazdobycha PJSC, Bld. 4, Sacco and Vanzetty street, Saratov, 410012, Russian Federation

* E-mail: A_Pushkarev@vniigaz.gazprom.ru

Abstract. Any construction or reconstruction of oil-gas facilities must be done according to the design solutions based on the data of engineering survey. Depending on a combination of external factors, one or another technical solution will be adopted including an anticorrosion protection for underground steel structures. Quality of electrometric works carried out within the framework of an engineering survey directly influences the costs and efficacy of a system aimed at anticorrosion protection of underground steel pipelines.

Keywords: corrosion, electrochemical protection, protective potential, specific electrical resistivity of soil, vagabond current, temperature of soil.

References

1. Code SP 47.13330.2012. Engineering survey for construction. Basic principles. (Russ.).
2. Building code SNiP 1.02.07-87. Engineering survey for construction. (Russ.).