

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ПРОТЯЖЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОГО ГРУНТА

Ю.Р. Владов

Оренбургский научный центр УрО РАН
Россия, 460000, Оренбург, Пионерская ул., 11
E-mail: geoecol-onc@mail.ru

Ю.М. Нестеренко

Оренбургский научный центр УрО РАН
Россия, 460000, Оренбург, Пионерская ул., 11
E-mail: geoecol-onc@mail.ru

А.Ю. Владова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: geoecol.onc@gmail.ru

Ключевые слова: управление состоянием, температурные аномалии, многолетнемерзлый грунт, протяженные энергетические объекты.

Аннотация: Управление состоянием протяженных энергетических объектов, в особенности расположенных в северных территориях страны – актуальная научно-практическая проблема. В статье представлена методология выявления температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте протяженных энергетических объектов, построенная на уникальных данных с послойным измерением температуры. Определяют границу оттаивания грунта, затем находят взвешенные по слоям грунта температурные модели термоскважин и проверяемого участка. Выясняют максимально допустимую величину температурного отклонения и сравнивают с ней найденные температурные отклонения. При использовании разработанной методологии эффективность функционирования протяженных энергетических объектов, расположенных в зоне многолетнемерзлого грунта, возрастает в среднем на 7,8..10,1 %.

1. Введение

Известно, что отказы протяженных энергетических объектов (ПЭО) расходуют значительные материальные и экологические ресурсы. Это выдвигает проблему повышения их эффективности функционирования в ранг самых актуальных.

Среди наиболее значимых работ, посвященных широкому кругу вопросов идентификации и управления состоянием объектов, следует отметить работы отечественных и зарубежных авторов [1-4], а также работы в области сбора данных, моделирования и идентификации [5], управления технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами [4, 6]. Однако, особенности ПЭО не позволяют использовать классические методы. Применяемые методы интеллектуального анализа данных,

используемые в различных областях науки и техники, предназначены для выявления закономерностей, классификации и кластеризации данных и не выходят на требуемый уровень управления состоянием ПЭО.

Цель - существенное повышение эффективности функционирования протяженных энергетических объектов, расположенных в зоне многолетнемерзлого грунта (ММГ). Задачи исследования: выяснить актуальность проблемы; разработать функциональную схему нового способа мониторинга температурных отклонений; на примере реализации этого способа подтвердить справедливость основных положений разработанной методологии.

2. Мониторинг температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы энергетического объекта

2.1. Патентно-технический анализ

Актуальность проблемы подтверждена ростом числа патентов в данной области, полученных за последнее время. Из них отобраны технические решения с достаточным для принятия за аналоги потенциалом. Известен способ температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов, относящийся к возводимым на них основаниям [7]. Однако, с помощью этого способа нельзя осуществить мониторинг температурных аномалий.

Известен способ дистанционного контроля состояния трубопровода в зоне вечной мерзлоты [8], по которому дистанционное зондирование трассы пролегания трубопровода осуществляют путем проведения радиолокационной интерферометрической съемки с повторяющихся орбит космических аппаратов. Увеличение интервала времени между наблюдениями в интерферометрических методах радиолокационной съемки приводит к возрастанию временной декорреляции отражений вплоть до полной потери сигнала.

Более близким является способ определения размеров и конфигурации зоны оттаивания вокруг скважины и температуры нефти в скважине, оборудованной эксплуатационной колонной, и расположенной внутри нее колонной насосно-компрессорных труб. Способ предназначен для использования при основании и эксплуатации месторождений углеводородов, расположенных в зоне распространения многолетнемерзлых пород [9]. Направлен на повышение точности прогнозирования теплового состояния мерзлых пород при эксплуатации скважин, но определить температурные аномалии в многолетнемерзлом грунте трассы ПЭО не представляется возможным.

Ранее разработанные авторами способы управления технологическими процессами с использованием ПИД-контроллеров с прогнозной составляющей [10, 11] также не позволяют приблизиться к решению проблемы. Не позволяет добиться поставленной цели и способ определения геодинамической активности недр эксплуатируемого месторождения углеводородного сырья [12]. И только способ мониторинга температурных отклонений в многолетнемерзлом грунте трассы энергетического объекта [13] позволяет решить поставленные задачи исследования.

2.2. Функциональная схема способа мониторинга

Мониторинг температурных отклонений в многолетнемерзлом грунте трассы энергетического объекта отображен функциональной схемой (рис. 1), включающей в себя следующие основные операции: 1 – послойно измеряют температуру грунта в каждой термоскважине выбранного участка, содержащего представительное количество термо-

скважин и расположенного вдоль трассы линейного объекта; 2 – определяют по сигналам от датчиков температуры в каждой термоскважине слой, которому принадлежит граница оттаивания грунта; 3 – определяют весовые коэффициенты a_i для каждого слоя грунта с учетом его влияния на формирование границы оттаивания грунта; 4 – находят взвешенную температурную модель для вышерасположенных слоев грунта относительно границы оттаивания для каждой термоскважины выбранного участка по соотношению (1):

$$(1) \quad Q_j = \sum_{i=1}^k a_i \cdot T_i,$$

где Q_j – взвешенная температурная модель для вышерасположенных слоев относительно границы оттаивания грунта j -ой термоскважины; $\sum_{i=1}^k$ – знак алгебраической суммы от найденного слоя, включающего границу оттаивания грунта ($i=1$) до поверхностного слоя k ; a_i – весовой коэффициент для i -того слоя грунта, нормированная величина которого характеризует вклад соответствующего слоя во взвешенную температурную модель Q_j j -ой термоскважины; T_i – температура i -го слоя грунта в j -ой термоскважине;

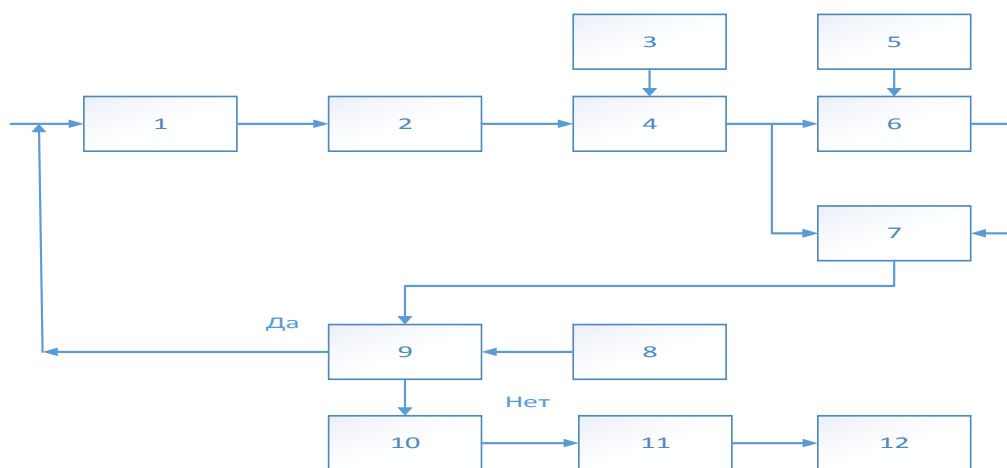


Рис.1. Функциональная схема способа мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы энергетического объекта.

5 – определяют с учетом места расположения весовые коэффициенты b_j для термоскважин, вошедших в выбранный участок трассы линейного объекта; 6 – находят взвешенную температурную модель Q_{uh} для выбранного участка трассы линейного объекта по соотношению (2):

$$(2) \quad Q_{uh} = \sum_{j=1}^n b_j \cdot Q_j,$$

где n – количество учитываемых термоскважин на выбранном участке; b_j – весовой коэффициент для j -ой термоскважины на выбранном участке трассы линейного объекта для учета вклада каждой термоскважины во взвешенную температурную модель участка; 7 – находят отклонения d_j между взвешенными температурными моделями отдельных термоскважин Q_j и общей взвешенной температурной моделью участка Q_{uh} по соотношению (3):

$$(3) \quad d_j = Q_j - Q_{uh};$$

8 – в соответствии с априорными данными выясняют максимально-допустимое отклонение d_{md} на выбранном участке трассы линейного объекта; 9 – сравнивают d_j с d_{md} по соотношению (4):

$$(4) \quad d_j \leq d_{md}.$$

В случае выполнения соотношения (4) для каждой термоскважины участка трассы энергетического объекта информация поступает по выходу «Да» и ожидают поступления следующей порции температурных данных, а в случае не выполнения соотношения (4) информация поступает по выходу «Нет»; 10 – формируют в последнем случае информацию, в которую включают местоположение выявленных температурных отклонений и соответствующие величины температурных отклонений; 11 – выбирают следующий участок трассы линейного объекта; 12 – переходят к мониторингу температурных отклонений в ММГ следующего участка.

2.3. Пример реализации мониторинга

Рассмотрим выявление температурных аномалий в ММГ участка надземной прокладки магистрального нефтепровода «Заполярье – Пурпе» с 11 термоскважинами и датой измерения 15.06.2016 г. На рис. 2 слои ММГ в метрах, в которых измеряется температура, отображены по оси X и составляют: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 11.



Рис. 2. График усредненных по слоям температур многолетнемерзлом грунте для термоскважин выбранного участка трассы магистрального нефтепровода

Послойно измеряют (1) температуру грунта в каждой термоскважине выбранного участка. Усредненные по слоям температуры ММГ для всех 11 термоскважин выбранного участка отображены на рис. 2. По сигналам от датчиков температуры в каждой термоскважине определяют (2) слой, которому принадлежит граница оттаивания. Из рис. 2 видно, что граница оттаивания ММГ для всех ТС принадлежит слою в 1 м. Методом ранжирования находят (3) весовые коэффициенты a_i для каждого слоя грунта с учетом их влияния на формирование границы оттаивания грунта. Они составили: для слоя с границей оттаивания ММГ – 0,5; далее 0,33 и для поверхностного слоя 0,17.

Находят (4) взвешенную температурную модель Q_j для вышерасположенных слоев грунта относительно границы оттаивания для каждой термоскважины выбранного участка по соотношению (1). В этом соотношении для данного случая: $k=3; j = 1, 2, \dots, 11; i = 1, 2, \dots, 11$. На рис. 3 отображены величины взвешенных температурных моделей термоскважин выбранного участка трассы магистрального трубопровода.



Рис. 3. График с величинами взвешенных температурных моделей термоскважин на выбранном участке трассы магистрального нефтепровода.

Диапазон изменения взвешенных температурных моделей для термоскважин (ТС) выбранного участка составил: от 0,14 для ТС735 до 2,91 для ТС433; определяют (5) с учетом величин взвешенных температурных моделей отдельных термоскважин, вошедших в выбранный участок, их весовые коэффициенты β_j . Диапазон изменения весовых коэффициентов b_j составил: от 0,02 для ТС433 до 0,17 для ТС735. Проверяем выполнение условия нормировки: $\sum_{j=1}^{n=11} b_j = 1$; находят (6) взвешенную температурную модель выбранного участка Q_{uh} по соотношению (2). Величина взвешенной температурной модели выбранного участка Q_{uh} трассы линейного объекта составила 1,17; находят (7) температурные отклонения d_j между взвешенными температурными моделями Q_j отдельных термоскважин участка и взвешенной температурной моделью участка Q_{uh} по соотношению (3). Диапазон изменения температурных отклонений d_j составил: от -0,39 для ТС734 до 1,74 для ТС433. В соответствии с априорными данными выясняют (8) максимально-допустимую величину отклонения d_{md} на выбранном участке, которая составила 1,6; сравнивают (9) d_j с d_{md} по соотношению (4). Поскольку соотношение (4) в данном случае не выполняется для ТС433, то задействован выход «Нет», при этом формируют (10) информацию, в которую включают местоположение выявленных температурных аномалий и соответствующие величины температурных отклонений. В сформированной информации указано местоположение температурной аномалии - ТС433, величина температурного отклонения – 1,74 и превышение выбранной максимально-допустимой величины на 0,14.

2.4. Техничко-экономическое обоснование

Техничко-экономическое обоснование выполнено по известной авторской методике [14], согласно которой эффективность функционирования $W(t)$ находится в виде аддитивной модели, представляющей сумму произведений коэффициентов весомости и соответствующих безразмерных частных характеристик. Из частных характеристик выделены три: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и поставка продукта. Для каждой выделенной характеристики рассмотрены две модели: обычное функционирование и функционирование с учетом выявления температурных аномалий в ММГ трассы.

3. Заключение

Результаты технико-экономического обоснования свидетельствуют, что вероятность нормального функционирования участка трубопровода в исследуемом интервале времени монотонно убывает, поставка продукта растет, а относительная стоимость эксплуатации увеличивается. Выявление температурных аномалий в ММГ протяженных энергетических объектов повышает надежность функционирования, понижает стоимость эксплуатации, приводит к возрастанию поставки продукта. В целом эффективность функционирования ПЭО в зоне многолетнемерзлого грунта за счет управления их состоянием повышается в среднем на 7,8...10,1 %.

Список литературы

1. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975. 376 с.
2. Эйкхофф П. Основы идентификация систем: оценивание параметров и состояния / Пер. с англ. В.А. Лотоцкого, А.С. Манделя; под ред. Н.С. Райбмана. М.: Мир, 1975. 683 с.

3. Деменков Н.П., Микрин Е.А. Управление в технических системах. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 452 с.
4. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2003. 299 с.
5. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Советское радио, 1980. 232 с.
6. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 368 с.
7. Патент RU 2157872, МПК7 E02D 3/115. Конструкция насыпного охлаждаемого основания сооружений и способ температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов / А.И. Березняков, Н.В. Михайлов, А.П. Попов и др. (РФ). № 96124547/03; заявл. 26.12.1996; опубл.20.10.2000, Бюл. № 29/2008. 5 с.
8. Патент RU 2260742, МПК7 F17D 5/02. Способ дистанционного контроля состояния трубопровода в зоне вечной мерзлоты / А.И. Захаров, Н.Н. Хренов (РФ). № 2004107291/06; заявл. 12.03.2004; опубл. 20.09.2005, Бюл. № 26. 6 с.
9. Патент RU 2588076, МПК7 E21B 47/06. Способ определения температуры многолетнемерзлых пород вокруг скважины и температуры флюида в скважине / Д.В. Шевелева (РФ). № 2004147792/03; заявл. 26.11.2014; опубл. 27.06.2016, Бюл. № 18. 12 с.
10. Vladov Y.R., Vladova A.Y. Two-stage workflow control with a predictive component // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51, No. 32. P. 712-716.
11. Vladov Y.R., Vladova A.Y. Control Signals of a Predictive Industrial PID Controller // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38, No. 5. P. 399-402. Russian Engineering Research. DOI: 10.3103/S1068798X18050210; EID: 2-s2.0-85049157156.
12. Патент RU 2575469, МПК G01V 9/00; G01V 1/28 (2006.01). Способ определения геодинамической активности недр разрабатываемого месторождения углеводородов / М.Ю. Нестеренко, Ю.М. Нестеренко, Ю.Р. Владов, А.Ю. Владова (РФ). № 2014145515/28; заявл. 12.11.2014; опубл.20.02.2016, Бюл. № 5. 14 с.
13. Патент RU 2669602, МПК F17D 5/00 (2006.01). Способ мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы линейного объекта / Ю.Р. Владов, А.Ю. Владова, Ю.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко (РФ). № 2017126860, заявл. 25.07.2017, опубл. 12.10.2018, Бюл. № 29. 18 с.
14. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния и эффективность функционирования промышленных объектов / Автоматизация в промышленности. 2005. № 4. С. 9-12.