

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

УДК 004.896: 681.5

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОМ ГРУНТЕ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Р. Владов, А.Ю. Владова

ФГБУН «Оренбургский научный центр УрО РАН»
Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11

Мониторинг состояния природно-техногенных объектов, в особенности расположенных на северных территориях страны, – актуальная научно-практическая проблема. В статье представлена методология мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте линейно-протяженных объектов, построенная на уникальных данных с послойным измерением температуры в каждой термоскважине выбранного участка. Определяют слой, которому принадлежит граница оттаивания грунта, затем находят взвешенные по слоям грунта температурные модели, соответствующую температурную модель проверяемого участка и температурные отклонения. Выясняют максимально допустимую величину температурного отклонения и сравнивают с ней найденные температурные отклонения. В случае невыполнения неравенства каждый раз формируют информацию, в которую включают местоположение выявленных температурных аномалий и соответствующие величины температурных отклонений. При использовании разработанной методологии эффективность функционирования линейно-протяженных объектов, расположенных в зоне многолетнемерзлого грунта, возрастает в среднем на 7,8...10,1 %.

Ключевые слова: мониторинг, температурные аномалии, многолетнемерзлый грунт, линейно-протяженные объекты.

Состояние исследований и актуальность проблемы

Под мониторингом состояния природно-техногенных объектов (ПТО) понимается система сбора, хранения и анализа относительно небольшого количества существенных признаков или параметров описания для вынесения суждения об их поведении или тенденции изменения в целом [1]. Отказы ПТО расходуют значительные материальные и экологические ресурсы, что выдвигает проблему технологий управления (в том числе мониторинга) их состоянием в ранг самых актуальных.

В ряде работ выделены типичные механизмы отказов, составлены физико-механические и математические модели процессов изменения состояния различ-

*Юрий Рафаилович Владов (д.т.н., проф.), заведующий лабораторией.
Алла Юрьевна Владова (д.т.н., доц.), ведущий научный сотрудник.*

ных объектов на основе локальных параметров; в то же время методы локального описания не отражают реальной интенсивности изменения. Обширная диагностическая информация о состоянии ПТО создается при использовании современных методов разрушающего и неразрушающего контроля. Однако ее анализ затруднен из-за большой размерности задачи и невозможности использования существующих методов обработки данных в условиях необходимости их ранжирования и сохранения связи с исследуемым ПТО. Среди наиболее значимых работ, посвященных широкому кругу вопросов идентификации и управления состоянием объектов, следует отметить работы отечественных и зарубежных авторов [2–4], а также работы в области сбора данных, моделирования и идентификации [5–7], управления технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами [7]. Однако особенности ПТО 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 ПТО.

Поскольку исследование посвящено мониторингу температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте (ММГ) линейно-протяженных объектов как типичном представителе класса ПТО, то целью является существенное повышение их эффективности функционирования, а также значительное повышение вероятности выявления опасных перемещений при оттаивании или замерзании грунта. Задачи исследования: выяснить актуальность проблемы; разработать функциональную схему процесса мониторинга; на примере реализации мониторинга подтвердить справедливость основных положений разработанной методологии; провести технико-экономическую оценку технического решения.

Патентный 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 основаниям, возводимым на многолетнемерзлых грунтах [8]. Он включает в себя размещение охлаждающих труб под отсыпку грунта, соединение их с конденсаторной частью и укладку слоя теплоизоляции. Охлаждающие трубы устанавливаются внутри защитных труб через открытые торцы последних с возможностью извлечения и замены дефектных участков. Способ направлен на температурную стабилизацию многолетнемерзлых грунтов при строительстве оснований и сооружений, но с его помощью нельзя осуществить мониторинг температурных аномалий.

Известен способ дистанционного контроля состояния трубопровода в зоне вечной мерзлоты [9], по которому дистанционное зондирование трассы пролегания трубопровода осуществляют путем проведения радиолокационной интерферометрической съемки с повторяющихся орбит космических аппаратов, когда расстояние между траекториями полета космического аппарата составляет не более 500 м. При этом вначале для каждого из элементов радиолокационных изображений, полученных в разные моменты времени, определяют разность фаз сигналов, содержащую информацию о перемещениях отражающей поверхности и рельефе, затем исходя из модели рельефа и геометрии съемки вычисляют топографическую разность фаз, порождаемую рельефом, и по разности указанных фаз определяют динамическую разность фаз за время между съемками данной

пары. После чего вычисляют вертикальную составляющую перемещений отражающей поверхности за время между съемками трубопровода на поверхности земли, утяжеляющих конструкций вместе с трубопроводом или лежащего на трубопроводе грунта по предложенной зависимости, в которую входят: длина волны сигнала, угол падения радиоволны на снимаемую поверхность, вертикальная составляющая перемещения отражающей поверхности относительно поверхности земли за время между съемками. Увеличение интервала времени между наблюдениями в интерферометрических методах радиолокационной съемки при использовании схемы наблюдений с повторяющихся орбит приводит к возрастанию временной декорреляции отражений вплоть до полной потери сигнала. Кроме того, известный способ не позволяет проводить мониторинг температурных аномалий в ММГ.

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, предназначенный для использования при основании и эксплуатации месторождений углеводородов, расположенных в зоне распространения многолетнемерзлых пород [10]. Способ включает проведение стандартных теплофизических исследований свойств грунта и определение на основании полученных исходных данных параметров теплообмена скважины и горных пород путем решения численными методами на основе математического моделирования, причем учитывают теплофизические параметры грунтов вокруг скважины, среднемесячную температуру воздуха, толщину снега, коэффициент теплообмена на поверхности земли с воздухом, дебит скважины, обводненность, глубину, температуру пласта на уровне отбора, радиус эксплуатационной колонны и колонны насосно-компрессорных труб, мощность мерзлоты, температуру мерзлоты, затем определяют динамику размера и конфигурации зоны оттаивания вокруг скважины и падение температуры нефти по стволу скважины, устьевую температуру на основе численных расчетов системы из трех сложных интегродифференциальных уравнений в цилиндрической системе координат. Способ направлен на повышение точности прогнозирования теплового состояния мерзлых пород при эксплуатации скважин, но определить температурные аномалии в многолетнемерзлом грунте трассы линейного объекта не представляется возможным, что является основным его недостатком.

Функциональная схема процесса мониторинга

Процесс мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы линейного 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 термоскважин 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. Причем соблюдают обязательное условие нормировки для весовых коэффициентов взятых слоев грунта $\sum_{i=1}^k a_i = 1$;

4) находят взвешенную температурную модель для вышерасположенных

слоев грунта относительно границы оттаивания для каждой термоскважины выбранного участка по соотношению

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

где Q_j – взвешенная температурная модель для вышерасположенных слоев относительно границы оттаивания грунта j -той 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 -той термоскважины;

T_i – температура i -того слоя грунта в j -той термоскважине;

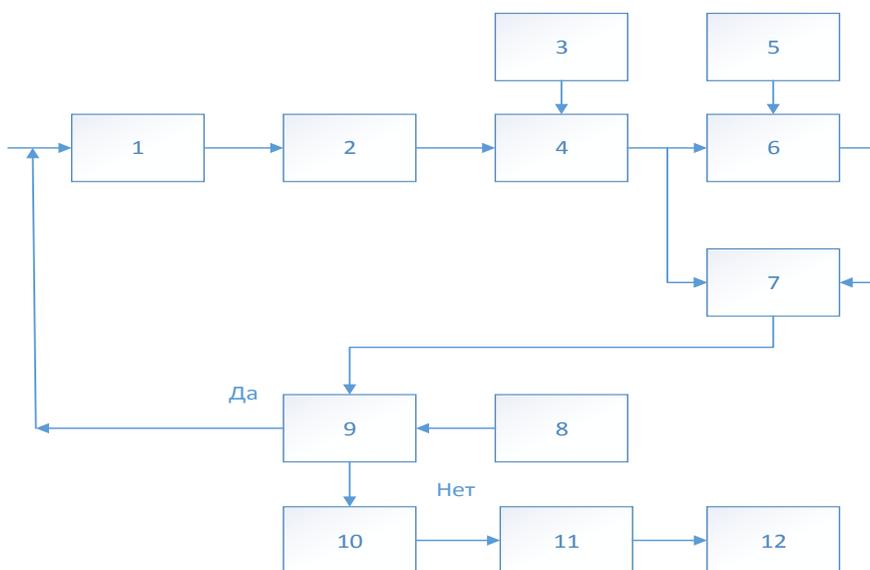


Рис. 1. Функциональная схема процесса мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы протяженного объекта

5) определяют с учетом места расположения весовые коэффициенты b_j для термоскважин, вошедших в выбранный участок трассы линейного объекта, причем соблюдают обязательное условие нормировки для весовых коэффициентов термоскважин рассматриваемого участка $\sum_{j=1}^n b_j = 1$;

6) находят взвешенную температурную модель θ_{uh} для выбранного участка трассы линейного объекта по соотношению

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

где n – количество учитываемых термоскважин на выбранном участке;

b_j – весовой коэффициент для j -той 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

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

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

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

в случае выполнения соотношения (4) для каждой термоскважины участка трассы линейного объекта информация поступает по выходу «Да» и ожидают поступления следующей порции температурных данных, а в случае невыполнения соотношения (4) информация поступает по выходу «Нет»;

10) формируют в последнем случае информацию, в которую включают местоположение выявленных температурных аномалий и соответствующие величины температурных отклонений;

11) выбирают следующий участок трассы линейного объекта;

12) переходят к мониторингу температурных аномалий в ММГ следующего участка.

Описание процесса мониторинга

Мониторинг температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте линейно-протяженного объекта осуществляют следующим образом. Послойно измеряют (1) (см. рис. 1) температуру грунта в каждой термоскважине выбранного участка, расположенного вдоль трассы линейного объекта; по сигналам от датчиков температуры в каждой термоскважине определяют (2) слой, которому принадлежит граница оттаивания грунта; находят (3) весовые коэффициенты для каждого слоя грунта с учетом их влияния на формирование границы оттаивания грунта; находят (4) взвешенную температурную модель для вышерасположенных слоев грунта относительно границы оттаивания для каждой термоскважины выбранного участка по соотношению (1). Определяют (5) с учетом величин взвешенных моделей отдельных термоскважин, вошедших в выбранный участок трассы линейного объекта, их весовые коэффициенты β_j ; находят (6) взвешенную температурную модель выбранного участка θ_{uh} трассы линейного объекта по соотношению (2). Определяют (7) отклонения d_j между взвешенными температурными моделями Q_j отдельных термоскважин участка и взвешенной температурной моделью участка Q_{uh} по соотношению (3). В соответствии с эмпирическими данными выясняют (8) максимально допустимую величину отклонения d_{md} на выбранном участке трассы линейного объекта и сравнивают (9) d_j с d_{md} по соотношению (4). В случае выполнения соотношения (4) для каждой термоскважины выбранного участка, расположенного вдоль трассы линейного объекта, информацию пропускают по выходу «Да» и ожидают поступления следующей порции температурных данных, а в случае невыполнения соотношения (4) задействован выход «Нет», при этом каждый раз формируют (10) информацию, в которую включают местоположение выявленных температурных аномалий и соответствующие величины температурных отклонений, затем выбирают (11) следующий участок трассы линейного объекта и переходят (12) к мониторингу температурных аномалий грунта следующего участка.

Пример реализации мониторинга

В качестве примера реализации рассмотрим мониторинг температурных аномалий в ММГ участка надземной прокладки магистрального нефтепровода «Заполярье – Пурпе» с 11 термоскважинами и датой измерения 15.06.2016. 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.

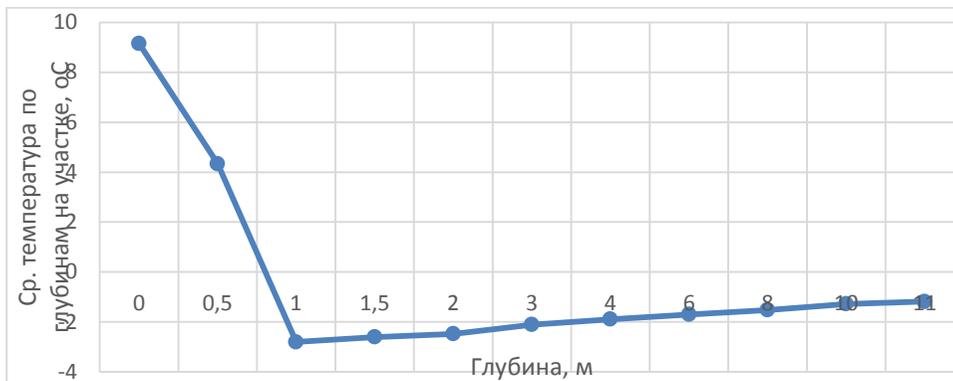


Рис. 2. График усредненных по слоям температур в многолетнемерзлом грунте для термоскважин выбранного участка трассы магистрального нефтепровода



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

Послойно измеряют (1) температуру грунта в каждой термоскважине выбранного участка, расположенного вдоль трассы линейного объекта. 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 ММ. 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. Проверка условия нормировки показывает, что сумма весовых коэффициентов равна 1.

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.

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 линейного объекта, 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} трассы линейного объекта 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 трассы линейного объекта, 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. Соответственно в сформированной информации будет указано местоположение температурной аномалии - ТС433, величина температурного отклонения – 1,74 и превышение выбранной максимально допустимой величины на 0,14. Если априорную максимально допустимую величину отклонения d_{md} на выбранном участке трассы линейного объекта выставили 1,9, то соотношение (4) выполняется для каждой термоскважины выбранного участка, расположенного вдоль трассы линейного объекта. Информация в этом случае проходит по выходу «Да» и ожидают поступления следующей порции температурных данных. Затем выбирают (11) следующий участок трассы линейного объекта и переходят (12) к его мониторингу.

Технико-экономическая оценка разработанного мониторинга температурных аномалий в ММГ линейно-протяженного объекта выполнена по известной методике [11], согласно которой эффективность функционирования $W(t)$ находится в виде аддитивной модели, представляющей сумму произведений коэффициентов весомости и соответствующих безразмерных частных характеристик эффективности. Из частных характеристик выделим три: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и поставка продукта. Для каждой выделенной характеристики рассматриваем две модели: обычное функционирование и функционирование с учетом мониторинга температурных аномалий в ММГ трассы.

Вероятность нормального функционирования $P_f(t)$ – более полная характеристика надежности объекта длительного использования, учитывающая его начальное состояние, безотказность и восстанавливаемость. $P_f(t)$ найдем по формуле полной вероятности сложного события. Предполагая потоки отказов и вос-

становлений простейшими и пренебрегая членами высших порядков малости, получим

$$P_f(t) = P(0)P(t) + [1 - P(0)]V(\tau)P(t - \tau), \quad (5)$$

где $P(0)$ – вероятность исправного состояния объекта в начальный момент времени, характеризуемая коэффициентами готовности или использования;

$1 - P(0)$ – вероятность неисправного состояния объекта к начальному моменту времени его применения;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы;

$P(t - \tau)$ – вероятность безотказной работы объекта за оставшееся время $(t - \tau)$, достаточное для его восстановления.

Выявлена закономерность: на этапе длительной эксплуатации линейного объекта, проложенного в зоне ММГ с возможным появлением температурных аномалий, надежность функционирования снижается, но с использованием результатов мониторинга по предложенному способу она снижается существенно меньше за счет своевременного и оперативного воздействия на участки с возникшими температурными аномалиями. Вторая модель надежности функционирования $P_{is}(t)$ получается путем умножения (5) на выявленную функцию $f_1(U)$, учитывающую влияние своевременного, оперативного и более объективного воздействия на участки с возникшими температурными аномалиями.

Следующая частная характеристика – стоимость эксплуатации линейного объекта, проложенного в зоне ММГ. Находится как сумма основных расходов в течение года (6). Выразим ее в долях общей стоимости объекта:

$$C_e(t) = \frac{1}{C_0} [C_{kz}(t) + C_{rem}(t) \cdot f(t) + C_{zp}(t) + C_{pr}(t)] t, \quad (6)$$

где $C_{kz}(t)$ – годовые расходы на защиту от коррозии;

$C_{rem}(t)$ – годовая стоимость ремонта;

$C_{zp}(t)$ – зарплата обслуживающего персонала в течение года;

$C_{pr}(t)$ – прочие годовые расходы на эксплуатацию;

C_0 – проектная стоимость трубопровода, проложенного в зоне ММГ;

$f(t)$ – функция, учитывающая повышение расходов на ремонт в процессе длительной эксплуатации.

Установлено, что на этапе длительной эксплуатации с увеличением наработки стоимость эксплуатации повышается, но с использованием результатов мониторинга температурных аномалий в ММГ трассы она повышается существенно меньше за счет увеличения межремонтного цикла и уменьшения расходов на ремонт. Эта закономерность справедлива даже с учетом некоторого возрастания стоимости за счет расходов на формирование базы данных и разработки соответствующего программного комплекса. Поэтому вторая модель стоимости эксплуатации $C_{es}(t)$ линейного объекта, проложенного в зоне ММГ, получается путем умножения (6) на выявленную функцию $f_2(U)$, учитывающую увеличение межремонтного цикла и уменьшение расходов на ремонт за счет использования результатов мониторинга температурных аномалий в ММГ.

Третья по важности частная характеристика эффективности функционирования – суммарный объем поставки продукта за время функционирования объекта – определяется соотношением

$$R(t) = \frac{Q}{Q_{nom} T_{norm}} t, \quad (7)$$

где Q и Q_{nom} – фактическая и номинальная объемные производительности ($\text{м}^3/\text{с}$), определяемые из соотношений:

$$Q = PFV;$$

$$Q_{nom} = P_{nom} F_{nom} V_{nom}.$$

В соотношениях:

P, P_{nom} – рабочее и номинальное давление, МПа;

F, F_{nom} – фактическая и номинальная площадь сечения, м^2 ;

V, V_{nom} – фактическая и номинальная скорость транспортировки продукта, м/ч;

T_{norm} – нормированный срок службы объекта.

Вторая модель объема поставки продукта $R_s(t)$ получается путем умножения (7) на выявленную функцию $f_3(U)$, учитывающую повышенные возможности соблюдения эксплуатационных режимов и сохранения проектных параметров, а также уменьшение времени простоя в ремонтный период и сокращение продолжительности ремонтов.

С учетом найденных значений частных характеристик по двум моделям – надежности функционирования, стоимости эксплуатации и поставки продукта – оценим эффективность функционирования $W(t)$ участка трубопровода, проложенного в зоне ММГ, также по двум соотношениям:

$$W(t) = a_1 P_f(t) - a_2 C_e(t) + a_3 R(t); \quad (8)$$

$$W_s(t) = a_1 P_{f_s}(t) - a_2 C_{e_s}(t) + a_3 R_s(t), \quad (9)$$

где a_1, a_2 и a_3 – коэффициенты влияния частных характеристик на эффективность функционирования участка трубопровода, проложенного в зоне ММГ, значения которых определены экспертной оценкой, проведенной среди соответствующих специалистов. Результаты расчета эффективности функционирования трубопровода для двух вариантов приведены на рис. 4.

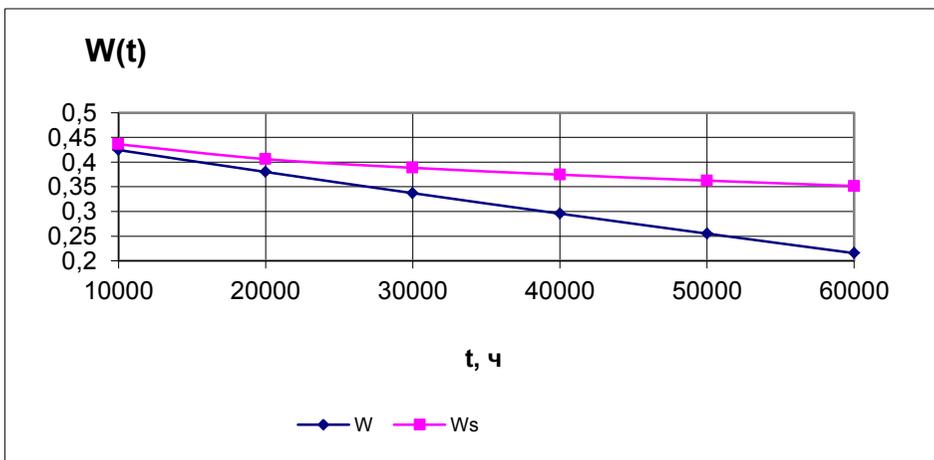


Рис. 4. Изменение эффективности функционирования выбранного участка трассы магистрального нефтепровода без (W) и с мониторингом температурных аномалий (W_s)

Выводы

Анализ опубликованных сведений по мониторингу состояния природно-техногенных объектов, сбору данных, моделированию и идентификации, управ-

лению технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами, Data Mining, Big Data, а также проведенный патентно-технический анализ позволяют констатировать значительную актуальность проблемы.

Процесс мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы линейно-протяженных объектов отображен функциональной схемой, включающей в себя 12 основных операций, выполнение которых, как это показано в примере реализации, позволяет выявить температурные аномалии в ММГ с высокой эффективностью, а также существенно повысить вероятность выявления опасных перемещений грунта при его оттаивании или замерзании.

Результаты технико-экономического обоснования свидетельствуют, что вероятность нормального функционирования участка трубопровода в исследуемом интервале времени монотонно убывает, поставка продукта растет, а относительная стоимость эксплуатации участка трубопровода увеличивается. Проведение мониторинга температурных аномалий в ММГ линейно-протяженного объекта повышает надежность функционирования трубопровода в среднем на 5,6 %, стоимость эксплуатации уменьшается на 4,2 %, поставка продукта возрастает на 7,4 %, а эффективность функционирования возрастает в среднем на 7,8...10,1 %.

Данное исследование является важной составляющей разработанного авторами современного научного направления «Технологии интеллектуального управления состоянием техногенных объектов» [12], поддержанного в 2012–2013 гг. грантами Российского фонда фундаментальных исследований, а впоследствии обобщенного на природные компоненты с апробацией методологии на мониторинге геодинамической активности недр разрабатываемых месторождений углеводородов [13–14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владов Ю.Р., Нестеренко М.Ю., Влацкий В.В. Мониторинг состояния природно-техногенных объектов с замкнутой автоматизированной системой // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 4 (52). – С. 22–31.
2. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физматлит, 2000. – 352 с.
3. Эйххофф П. Оценивание параметров и состояния / Пер. с англ. В.А. Лотоцкого, А.С. Манделя; под ред. Н. С. Райбмана. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
4. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.
5. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2003. – 299 с.
6. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.
7. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния и эффективность функционирования промышленных объектов // Автоматизация в промышленности. – 2005. – № 4. – С. 9–12.
12. Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Построение и моделирование систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов: монография. – Оренбург: ИПК «Университет», 2013. – 243 с.
13. Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Владов Ю.Р. Влияние переотраженного сигнала на точность глобальных навигационных систем в области мониторинга деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 9. – С. 143–147.
14. 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; опублик. 20.02.2016, Бюл. № 5. – 14 с.

Статья поступила в редакцию 30 июня 2017 г.

MONITORING OF TEMPERATURE ANOMALIES IN A MULTI-NITROGEN GROUND OF EXPANSION OBJECTS

Yu.R. Vladov, A.Yu. Vladova

FGBUN «Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences»
11, Pionerskaya St., 460000, Orenburg, Russian Federation

Monitoring of the state of natural and man-made objects located in the northern territories of the country is an actual scientific and practical problem. The article presents a methodology for monitoring temperature anomalies in permafrost soils of extended objects. It is built on unique data obtained by layer-by-layer measurement of temperature in each well of the selected site. Determine the layer to which the boundary of thawing of the soil belongs. Then, the temperature models of the wells, the area under test and the corresponding temperature deviations are weighted along the soil layers. Find out the maximum permissible value of the temperature deviation and compare with it the found temperature deviations. In the case of non-fulfillment of the inequality, information is formed each time, which includes the location of the detected temperature anomalies and the corresponding values of the temperature deviations. The efficiency of functioning of long objects located in the permafrost zone increases on average by 7.8 ... 10.1%.

Keywords: *monitoring, temperature anomalies, permafrost, linear-extended objects.*

Yury R. Vladov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Alla Yu. Vladova (Dr. Sci. (Techn.)), Associate Professor.