

УДК 004.896 : 681.5

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАМКНУТОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ

Ю.Р. Владов, М.Ю. Нестеренко, В.В. Влацкий

ФГБУН «Оренбургский научный центр УрО РАН»
Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 1

Мониторинг состояния природно-техногенных объектов (ПТО) – одна из актуальнейших научных и практических проблем. В статье представлена разработанная методология мониторинга состояния ПТО с замкнутой автоматизированной системой. Предложена декомпозиция проблемы, предполагающая нахождение оптимальных агрегированных и аналитических моделей изменения состояния, а также моделей формирования мониторинговой информации. Разработана геоинформационная система с сетью сейсмических станций. Структурную основу замкнутой автоматизированной системы мониторинга составляют программные модули нахождения соответствующих моделей состояния ПТО, в том числе моделей формирования мониторинговой информации. При ее использовании установлено существенное (более 10 %) повышение эффективности функционирования и использования природно-техногенных объектов.

Ключевые слова: мониторинг состояния, геоинформационная технология, замкнутая автоматизированная система, природно-техногенные объекты.

Состояние исследований и актуальность проблемы

Под мониторингом состояния объекта понимается система сбора, хранения и анализа относительно небольшого количества существенных признаков или его параметров описания для вынесения суждения о его состоянии или поведении в целом. Отказы природно-техногенных объектов (ПТО) расходуют значительные материальные и экологические ресурсы. Увеличивающаяся продолжительность работы ПТО сопровождается их износом и выдвигает проблему мониторинга состояния в ранг наиболее актуальных.

В ряде работ выделены типичные механизмы отказов, составлены физико-механические и математические модели процессов изменения состояния различных объектов на основе локальных параметров. В то же время методы локального или точечного мониторинга не отражают реальной их интенсивности изменения.

Обширная диагностическая информация о повреждениях 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 объектом.

Среди наиболее значимых работ, посвященных широкому кругу вопросов

Юрий Рафаилович Владов (д.т.н., проф.), заведующий лабораторией.

Максим Юрьевич Нестеренко (д.геол.-минерал.н., доц.), заведующий лабораторией.

Валерий Викторович Влацкий, старший научный сотрудник.

идентификации и мониторинга состояния объектов, следует отметить работы отечественных и зарубежных авторов [1–5], а также работы в области сбора данных, моделирования и идентификации с помощью ЭВМ [2–8], управления технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами [7–13]. Однако особенности техногенных объектов не позволяют использовать соответствующие 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 мониторинга состояния объектов выделенного класса.

Теория автоматизированных информационных систем и ее отдельные приложения отражены в трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых [1, 5, 11–13]. Однако многие теоретические и прикладные вопросы их использования еще далеки от завершения, в особенности для природно-техногенных объектов, функционирующих в условиях полной или частичной неопределенности и высокой удельной концентрации различных видов энергии. Современные природно-техногенные объекты в ряде случаев относятся к классу сложных. Существенное повышение эффективности функционирования таких объектов достигается путем применения адекватно сложных замкнутых автоматизированных систем мониторинга состояния.

Цель – повышение эффективности функционирования и использования сложных техногенных объектов длительной эксплуатации за счет разработки методологии мониторинга их состояния.

Задачи исследования: изложить основные теоретические положения построения методологии мониторинга состояния ПТО; разработать геоинформационную систему с сетью сейсмических станций; апробировать предлагаемую технологию мониторинга состояния природно-техногенных объектов.

Декомпозиция проблемы

Ввиду масштабности и сложности фундаментальной проблемы автоматизированного мониторинга состояния ПТО рациональна ее декомпозиция на три этапа. На первом этапе создаются оптимальные агрегированные модели состояния. На втором этапе на их основе выявляются аппроксимирующие зависимости корреляционных функций изменения состояния и решается модифицированное интегральное уравнение Винера – Хопфа. Третий этап предусматривает формирование мониторинговой информации с принятием обоснованных решений.

Агрегированные модели

Процесс нахождения агрегированных моделей состояния ПТО рассмотрим на примере теплоэнергетического оборудования. Предлагается вести агрегирование на пяти уровнях [3]: поэлементное, покомпонентное, поагрегатное, погрупповое и общее (рис. 1). Например, покомпонентное агрегирование предусматривает нахождение степени повреждения металла по трем компонентам: надежностной $S_{нк}$ в соответствии с эффективной наработкой, температурной $S_{тк}$ в зависимости от напряжения и температуры и механической компоненты $S_{мк}$ также в зависимости от эффективной температуры для каждого элемента с учетом 11 существенных физико-механических свойств, а также марки стали, давления и других факторов, выбранных из базы данных.

		$S_{\text{опт.мин}}, S_{\text{опт.ср}}, S_{\text{опт.макс}}$																								
5		$S_{\text{адд}}$						$S_{\text{мпт}}$						$S_{\text{кмб}}$												
5		N_a				N_q						N_z														
		$S_{\text{агр1}}$						.....						$S_{\text{агр m}}$											
4	4	Гибы		$M_{\text{гибов}}$				$D_{\text{гибов}}$				$\sigma_{\text{гибов}}$			Интервальные значения											
		Св. швы		$M_{\text{св.швов}}$				$D_{\text{св.швов}}$				$\sigma_{\text{св.швов}}$														
		Трубы		$M_{\text{труб}}$				$D_{\text{труб}}$				$\sigma_{\text{труб}}$														
		$S_{\text{адд1}}$	$S_{\text{мпт1}}$		$S_{\text{кмб1}}$				...		$S_{\text{адд k}}$			$S_{\text{мпт k}}$		$S_{\text{кмб k}}$						
		N_{a1}		N_{q1}		N_{z1}				...		$N_{a k}$			$N_{q k}$		$N_{z k}$									
		Схема 1						...						Схема k												
		$S_{\text{опт агр}}$						.....						$S_{\text{опт агр}}$											
3	3	$S_{\text{адд1}}$	$S_{\text{мпт1}}$		$S_{\text{кмб1}}$										$S_{\text{адд m}}$			$S_{\text{мпт m}}$		$S_{\text{км m}}$						
		N_{a1}	N_{q1}		N_{z1}				$\alpha_{Na}, \alpha_{Nq}, \alpha_{Nz}$						$N_{a m}$			$N_{q m}$		N_{z33}						
		Агрегат 1						.....						Агрегат m											
		S_1						...						S_n												
		$S_{\text{нк1}}$		$S_{\text{тк1}}$				$S_{\text{мк1}}$...						$S_{\text{нк n}}$			$S_{\text{тк n}}$		$S_{\text{мк n}}$			
		$S_{\text{нк1}}$		$S_{\text{тк1}}$		$S_{\text{мк1}}$...						$S_{\text{нк n}}$			$S_{\text{тк n}}$		$S_{\text{мк n}}$					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		

Рис. 1. Схема нахождения агрегированных моделей состояния энергетического котла как сложного техногенного объекта:

1 – покомпонентная; 2 – поэлементная; 3 – поагрегатная; 4 – погрупповая; 5 – общая

Выбраны весовые коэффициенты: в надежностной компоненте для вероятности отказов (1) $\alpha_{Q(t)}$, номинального допускаемого напряжения (2) $\alpha_{\bar{A}i}$ и относительного количества пусков (3) $\alpha_{\bar{n}}$; в температурной компоненте для допускаемого напряжения (4) $\alpha_{\bar{A}i}$, предела ползучести (5) $\alpha_{\bar{I}}$ и предела длительной прочности (6) $\alpha_{\bar{I}i}$; в механической компоненте для предела прочности (7) $\alpha_{\bar{I}o}$, предела текучести (8) $\alpha_{\bar{I}o}$, относительного удлинения (9) $\alpha_{\bar{I}o}$, относительного сужения (10) $\alpha_{\bar{I}N}$ и ударной вязкости (11) $\alpha_{\bar{O}A}$. Как видно из рис. 1, при нахождения агрегированных моделей состояния теплоэнергетического оборудования использованы три компоненты, n элементов, m агрегатов и k схем.

Третий уровень операций агрегирования предполагает выбор удельного количества элементов в агрегате. Выбор оптимального количества осуществляется

по критерию минимума среднего риска. Таким образом, создаются агрегаты, для каждого из которых вычисляются по предложенному алгоритму три параметра агрегирования N_{ai} , N_{qi} , N_{zi} , из которых образуются по три агрегированные модели – аддитивная, мультипликативная и комбинированная с учетом весовых коэффициентов.

Конечной целью погруппового агрегирования является получение основных статистических характеристик: математического ожидания M , дисперсии D , стандартного отклонения σ и границ интервалов для гибов, сварных соединений и труб с опорой на разработанный комплект схем графической части базы данных. В качестве исходной информации на уровне общего агрегирования используются найденные значения состояния каждого агрегата, по которым вычисляются те же критерии N_a , N_q , N_z , и находятся агрегированные модели $S_{адд}$, $S_{млт}$, $S_{кмб}$, из которых по одному из критериев минимального, среднего или максимального риска в зависимости от ситуации находятся соответствующие состояния ПТО – $S_{опт.мин}$, $S_{опт.ср}$, $S_{опт.макс}$.

По результатам каждого диагностирования ПТО выявляется неравномерность его состояния, ухудшение по мере увеличения наработки и выделяются потенциально опасные агрегаты.

Корреляционные зависимости

Из множества построенных на основе оптимальных агрегированных моделей состояния ПТО выделяются типы корреляционных функций: авто- $R_{xx}(\tau)$, $R_{yy}(\tau)$ и взаимно- ($R_{yx}(\tau)$ при $\tau \geq 0$ и $R_{xy}(\tau)$ при $\tau < 0$). По полученным результатам нами предлагается провести замену нормированных авто- $r_{ii}(\tau)$ и взаимно- $r_{ij}(\tau)$, $r_{ji}(\tau)$ корреляционных функций аппроксимирующими зависимостями: экспоненциальными, экспоненциально косинусными, экспоненциально полиномиальными и экспоненциально косинусинусными [3–4]. Например, экспоненциально косинусные зависимости описываются формулами

$$r_{ii}(\tau) = A \cdot e^{-\alpha \cdot |\tau|} \cos(\omega \cdot \tau); \quad (1)$$

$$r_{ij}(\tau) = B \cdot e^{-\beta_1 \cdot \tau} \cos(\omega \cdot \tau); \quad (2)$$

$$r_{ji}(\tau) = B \cdot e^{\beta_2 \cdot \tau} \cos(\omega \cdot \tau), \quad (3)$$

где коэффициенты A и B – характеризуют начальные условия;

α, β_1, β_2 – показывают интенсивность затухания корреляционных функций;

ω – определяет среднюю частоту периодических составляющих случайных процессов.

Во всех случаях коэффициенты аппроксимации, характеризующие случайные процессы изменения состояния, – положительные вещественные числа, что позволяет находить аналитические модели изменения состояния ПТО в символическом виде.

Аналитические модели изменения состояния

Аналитические модели изменения состояния ПТО найдутся при постановке задачи с входной $U_x(t)$ и выходной $U_y(t)$ оптимальными агрегированными моделями [3]. Нужно найти оценку оператора, характеризующего интенсив-

ность изменения состояния ПТО, $-v(t)$. Для этого необходимо соблюсти требование близости случайных функций $U_y^*(t)$ выхода модели к случайной функции $U_y(t)$, являющейся выходной переменной объекта. Критерием близости случайных функций является функция потерь $\rho[u_y(t), u_y^*(t)]$, на математическое ожидание которой наложено требование минимума (4):

$$M\{\rho[u_y(t), u_y^*(t)]\} = \min. \quad (4)$$

Критерий минимума среднего риска будет выполнен при минимуме математического ожидания функции потерь и конкретной реализации случайной агрегированной модели на входе. Оператор математического ожидания или регрессия выходной переменной $U_y(t)$ относительно входной $U_x(t')$ дает оптимальную оценку оператора состояния объекта. Проводя преобразования линейных операторов [3] с учетом нормирования аппроксимирующих корреляционных зависимостей, стационарности и стационарной связанности случайных функций $U_y(t)$ и $U_x(t)$, интенсивность изменения состояния ПТО найдем по модифицированному интегральному уравнению Винера – Хопфа (5):

$$\int_0^{\infty} v(\tau) \cdot r_{xx}(t - \tau) \cdot d\tau = r_{yx}(t), \quad -\infty < t < \infty, \quad v(\tau) = 0 \text{ при } \tau < 0. \quad (5)$$

По данным [9, 11, 13, 15] известно, что интегральное уравнение Фредгольма 1-го рода типа (5) сводится декомпозицией авто- и взаимно- КФ на две составляющие при $t \geq 0$ и $t < 0$ к интегральному уравнению Вольтерра 1-го рода, аналитически решаемому с помощью преобразования Лапласа.

В силу единственности аналитического продолжения для функций $r_{xx}^-(t)$ и $r_{yx}^-(t)$ соответствующее уравнение имеет место для всех t . Проводя интегральные преобразования, получаем

$$\int_0^t v(\tau) \cdot [r_{xx}^+(t - \tau) - r_{xx}^-(t - \tau)] \cdot d\tau = r_{yx}^+(t) - r_{yx}^-(t). \quad (6)$$

Поскольку для рассматриваемых функций существует преобразование Лапласа, то решение (6) всегда существует, и притом оно единственное. Применив преобразование Лапласа с оператором s и учтя теорему умножения для свертки оригиналов, получим расчетное выражение для нахождения передаточной функции $G(s)$:

$$G(s) \cdot [r_{xx}^+(s) - r_{xx}^-(s)] = r_{yx}^+(s) - r_{yx}^-(s). \quad (7)$$

Используя обратное преобразование Лапласа с оператором s^{-1} , находим аналитические модели, отражающие процессы изменения состояния и их интенсивности для техногенных объектов. В целом построенные на этом этапе по оптимальным агрегированным моделям корреляционные функции позволяют выделить 4 типа аппроксимирующих зависимостей с увеличивающимися по сложности описания аргументами в соответствии с установленными при длительной эксплуатации четырьмя механизмами повреждений ПТО. По найденным расчетным выражениям для модифицированного интегрального уравнения Винера – Хопфа получены модели процессов изменения состояния и их интенсивностей в символьном виде.

Разработка геоинформационной системы с сетью сейсмических станций

Назначение системы – проводить сейсмический мониторинг геодинамической активности недр разрабатываемых месторождений в реальном времени. Система состоит из ряда сеймостанций с общим количеством N , GPS-датчиков (GPS_1, \dots, GPS_N), сервера данных (рис. 2) и информационной подсистемы «ГИС – Недропользование». В свою очередь, датчики подсистемы, входящие в сеть сейсмических станций «Нефтегаз-сейсмика», подразделяются на две группы: локальную и телесеismicкую. Из группы локальной сейсмики необходимо отметить позиционирование этих датчиков по сторонам света (N-S и E-W) и глубине залегания (Z_1, \dots, Z_N).

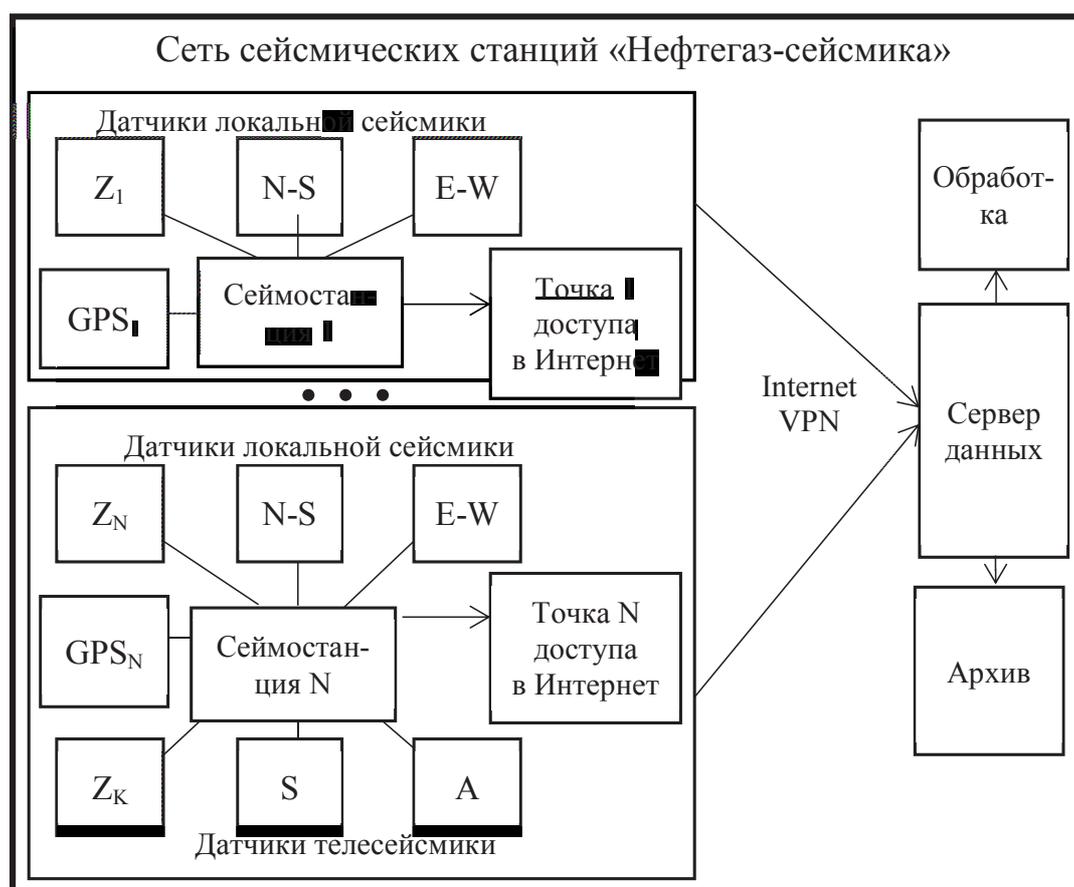


Рис. 2. Схема информационной системы «ГИС – Недропользование» с сетью сейсмических станций «Газ-сейсмика»

В группу датчиков телесеismicки введены устройства для фиксации удаленных событий в виде степени охвата недр (S) и амплитуды сигналов (A). Система интегрирована в локальную сеть Центра данных с использованием наземных и спутниковых каналов связи. Информация в каждой группе передается с помощью точек доступа в Интернет (1...N).

Основным преимуществом рассмотренной системы является гиперчувствительность к удаленным сейсмическим событиям в реальном времени. С помощью системы «ГИС – Недропользование» и сети, состоящей из восьми стационарных и двух передвижных сейсмических станций, на разрабатываемых месторождениях нефти и газа в Оренбургской области фиксируется в среднем 2–3 сейсмических события в месяц. Подавляющее большинство зафиксированных

в последнее десятилетие сейсмических событий имеют очаги на глубинах до 10 км.

Замкнутая автоматизированная система мониторинга состояния

С учетом представленной методологии и разработанного алгоритмического, математического и интеллектуального обеспечения составлена схема (рис. 3) автоматизированной системы мониторинга состояния ПТО, содержащая в прямой цепи (кроме группы однородных техногенных объектов) службу технического надзора и диагностики, а также устройство для выполнения операций по неразрушающему контролю [3]. Цепь отрицательной обратной связи, замыкающая автоматизированную систему, составлена из базы знаний и программного комплекса, выполняющего в автоматизированном режиме операции по нахождению оптимальных агрегированных моделей, выявлению по результатам аналитической идентификации в текущее и прогнозное время потенциально опасных агрегатов и формированию мониторинговой информации.

Замкнутая автоматизированная система мониторинга состояния ПТО состоит из следующих блоков:

1 – база знаний о повреждениях и аналитических моделях изменения состояния в символьном виде;

2 – построение и нахождение оптимальных агрегированных моделей;

3 – выявление по результатам аналитической идентификации потенциально опасных агрегатов;

4 – выявление по результатам прогнозирования потенциально опасных агрегатов в прогнозное время;

5 – формирование мониторинговой информации на момент последнего диагностирования для восстановления потенциально опасных агрегатов;

6 – формирование мониторинговой информации для восстановления потенциально опасных агрегатов в прогнозное время;

7 – организация, занимающаяся техническим обслуживанием и ремонтом техногенных объектов;

8 – группа однородных техногенных объектов;

9 – устройство для выполнения операций по неразрушающему контролю в автоматизированном режиме.

Основные информационные векторы, отмеченные на схеме, – многокомпонентные. Ниже дается их расшифровка:

– $Q_0(H_{кр}, h_{кр}, a_{кр}, L_{кр}, D_{кр})$ – вектор с информацией о критических или опасных повреждениях, подлежащих вырезке эксплуатирующей организацией или требующих отдельного контроля. Здесь $H_{кр}$, $h_{кр}$, $a_{кр}$, $L_{кр}$, $D_{кр}$ – критические толщины стенки в районах повреждений, критические глубины и длины повреждений, а также местоположение и количество критических повреждений;

– $Q_1(H^*, h^*, a^*, L^*, D^*)$ – вектор с той же информацией о повреждениях, за исключением критических;

– $Q_2(S_{хорт}, S_{уорт}, L, D)$ – вектор с информацией о входных и выходных агрегированных моделях для каждого участка, а также об их местоположении и количестве;

– $Q_3(S_{ор}, L_{ор}, D_{ор})$ – вектор с информацией о потенциально опасных участках в исследуемом ПТО после проведения аналитической идентификации, в частности о величине состояния $S_{ор}$, местоположении $L_{ор}$ и количестве $D_{ор}$;

– $Q_4(S_{ор_}, L_{ор_}, D_{ор_})$ – вектор с информацией о потенциально опасных

участках в исследуемом ПТО после прогнозирования, в частности о величине состояния $S_{op_}$, местоположении $L_{op_}$ и количестве $D_{op_}$;

– $Q_5(S_{v_}, L_{v_}, D_{v_})$ – вектор с информацией о вариантах восстановления состояния потенциально опасных участков в исследуемом ПТО после проведения аналитической идентификации, в частности о величине состояния S_v до и после восстановления, местоположении L_v , предназначенных для восстановления повреждений, и их количестве D_v ;

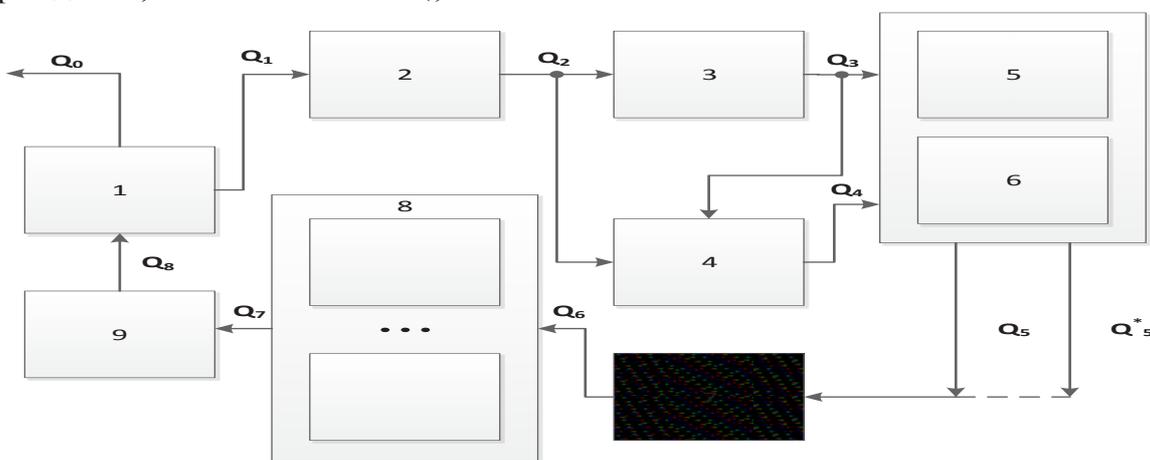


Рис. 3. Функциональная схема замкнутой автоматизированной системы мониторинга состояния природно-техногенных объектов

– $Q_6(S_{v_}, L_{v_}, D_{v_})$ – вектор с информацией о вариантах восстановления состояния потенциально опасных участков в исследуемом ПТО после проведения прогнозирования, в частности о величине состояния S_v до и после восстановления, местоположении L_v , предназначенных для восстановления повреждений, и их количестве D_v ;

– $Q_7(S_0, L_0, D_0)$ – вектор с информацией о потенциально опасных участках в исследуемом ПТО, оставшихся без восстановления в связи с ограниченными возможностями эксплуатирующей организации, в частности о величине состояния S_0 , местоположении L_0 и их количестве D_0 ;

– $Q_8(H_r, h_r, a_r, b_r, L_r, D_r)$ – вектор с информацией обо всех распознанных в результате неразрушающего контроля повреждениях внешней и внутренней поверхности металлической оболочки ПТО и их параметрах, включающих толщину стенки H_r в районе каждого повреждения, глубину h_r , длину a_r , ширину b_r , месторасположение L_r , а также их количество D_r ;

– Q_9 – вектор, поступающий на второй вход блока 7 и несущий информацию о нормативно-технических требованиях (на схеме не показан).

В целом автоматизированная система мониторинга состояния ПТО представляет собой более совершенную замкнутую систему, в которой блоки 7, 8 и 9 образуют прямую цепь, а блоки 1–6 составляют цепь обратной связи. В целом сформированная информация на выходе блоков 5 и 6 (векторы Q_5 и Q_5^*) позволяет корректировать организацию, содержание и стратегию диагностирования, а также технического обслуживания и ремонта, и тем самым существенно повысить эффективность функционирования природно-техногенных объектов.

Выводы

Анализ опубликованных сведений по мониторингу состояния объектов, сбору данных, моделированию и идентификации, управлению технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами, Data Mining, а также патентный анализ позволяют уверенно констатировать значительную актуальность проблемы.

Предложенная декомпозиция проблемы на три этапа оптимальна, причем наиболее трудоемкий, требующий значительных информационных ресурсов второй этап позволяет получить аппроксимирующие зависимости корреляционных функций изменения состояния техногенных объектов и решить модифицированное интегральное уравнение Винера – Хопфа с нахождением соответствующих моделей изменения состояния в символьном виде.

Использованные в исследовании агрегированные модели состояния по объективным причинам значительно информативнее локальных моделей, а также обладают рядом эмерджентных свойств, из которых в первую очередь следует выделить сглаживающий эффект, позволяющий применять линейный математический аппарат в виде обыкновенных дифференциальных уравнений.

Полученные в исследовании модели процессов изменения состояния и их интенсивностей апробированы на целом ряде ПТО и, как установлено, с достаточной точностью отражают различные механизмы их повреждения.

Регистрация сейсмических событий в недрах разрабатываемых месторождений углеводородов – сложная проблема, требующая установки локальных и телесеизмических датчиков и построения автоматизированной геоинформационной системы на их основе. Разработанная система, состоящая из сети сейсмических станций «Нефтегаз-сейсмика» и информационной подсистемы «ГИС – Недропользование», позволяет решить проблему на достаточно высоком научном и практическом уровне.

Девять основных информационных векторов позволяют замкнуть автоматизированную систему мониторинга техногенных объектов, а информационное наполнение векторов позволяет проследить интеллектуальное преобразование информации для реализации эффективного мониторинга состояния объектов природно-техногенного характера. Разработанная технология апробирована также при мониторинге геодинамической активности недр разрабатываемого месторождения углеводородов [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
2. Владов Ю.Р., Кушнарченко В.М., Владова А.Ю., Степанов Е.П. и др. Идентификация технического состояния теплоэнергетического оборудования: монография. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 200 с.
3. Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Построение и моделирование систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов: монография. – Оренбург: Университет, 2013. – 243 с.
4. Владов Ю.Р. Систематизация математических моделей при аналитической идентификации технического состояния промышленных объектов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2005. – № 33. – С. 14–19.
5. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физматлит, 2000. – 352 с.
6. 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.

7. Основы управления технологическими процессами / А.С. Анисимов [и др.]. Под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Наука, 1978. – 440 с.
8. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф; Пер. с англ. В.А. Лотоцкого, А.С. Манделя; под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
9. Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем. В 2 ч. Ч. 2. Идентификация нелинейных систем. – М.: Финансы и Статистика, 2007. – 288 с.
10. Райбман Н.С., Чадаев В.М. Построение моделей процессов производства. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.
11. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2005. – 291 с.
12. Растрюгин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.
13. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
14. Патент RU 2575469, 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.

Статья поступила в редакцию 1 октября 2016 г.

MONITORING THE STATE OF NATURAL AND MAN-MADE OBJECTS WITH A CLOSED AUTOMATED SYSTEM

Y.R. Vladov, M.Y. Nesterenko, V.V. Vlatsky

Orenburg Scientific Centre of UrB RAS
11, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russian Federation

Monitoring natural and industrial objects is one of the most actual scientific and practical problems. The article presents the developed methodology for monitoring of natural-technogenic objects with a closed automated system. A decomposition of the problem involves finding: optimal aggregation and analytical models of changes in the state, as well as models of the formation of the monitoring information. The GIS that includes a network of seismic stations is developed. The structural basis for a closed automated system monitoring software modules make finding relevant models of the state of natural and man-made objects, including models of formation of monitoring information. With its use of established significant (over 10%), improving the functioning and use of natural and man-made objects.

Keywords: *condition monitoring, GIS technology, closed automated system, natural and man-made objects.*

*Yury R. Vladov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, Head of Laboratory.
Maksim Y. Nesterenko (Dr. Sci. (Geologo-Mineralogical), Professor, Head of Laboratory.
Valery V. Vlatsky, Senior Research.*