

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-01

МЕТОДИКА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРНЫМ ПАРКОМ**Н. В. Замятин^a, Г. В. Смирнов^b, В. И. Маковкин^c***Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск,
Российская Федерация**^a ✉ zamnv47@gmail.com, ^b smirnov@main.tusur.ru, ^c assorti2030@yandex.ru*

Аннотация: добыча сырья и его переработка в готовую продукцию связаны с использованием резервуарных парков. С ростом резервуарного парка возрастают проблемы, обусловленные количественным учетом хранимых веществ и продуктов их переработки. Решение этих проблем невозможно осуществить без разработки эффективных систем управления.

Предложен подход к построению системы ситуационного управления резервуарным парком, позволяющий повысить эффективность функционирования технологических процессов за счет своевременного принятия управленческих решений по устранению нештатных ситуаций. Приведен пример перехода от нештатных ситуаций к штатным с использованием нечеткой ситуационной сети и правил перехода.

Ключевые слова: резервуарный парк, ситуационное управление, технологический процесс, нечеткая логика, функции принадлежности.

Для цитирования: Замятин Н. В., Смирнов Г. В., Маковкин В. И. Методика ситуационного управления резервуарным парком. *Успехи кибернетики*. 2023;4(1):7–14. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-01.

*Поступила в редакцию: 15.01.2023.**В окончательном варианте: 21.03.2023.***TANK FARM SITUATIONAL MANAGEMENT****N. V. Zamyatin^a, G. V. Smirnov^b, V. I. Makovkin^c***Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation**^a ✉ zamnv47@gmail.com, ^b smirnov@main.tusur.ru, ^c assorti2030@yandex.ru*

Abstract: the extraction and processing of raw materials requires the use of tank farms (TF). As the tank farm grows, there are issues with product metering, and an efficient management system is required.

We proposed an approach to the development of a tank farm situational management system. The system increases the process efficiency with its prompt management decisions to rectify any emergencies. The paper contains an example of restoring the normal operation with an fuzzy situational network and transition rules.

Keywords: tank farm, situational management, process, fuzzy logic, membership functions.

Cite this article: Zamyatin N. V., Smirnov G. V., Makovkin V. I. Tank Farm Situational Management. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(1):7–14. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-01.

*Original article submitted: 15.01.2023.**Revision submitted: 21.03.2023.*

Резервуарные парки (РП) относятся к инженерным сооружениям в системе хранения и транспортировки веществ и продуктов переработки. Для их хранения современные перерабатывающие предприятия оснащены резервуарами различных конструкций. Выбор резервуаров зависит от видов сырья и продуктов переработки и отличается по назначению и физико-химическим свойствам хранимых веществ и продуктов переработки. Размер РП определяется объемами хранения каждого вида вещества в соответствии с установленной цикличностью первичной и последующей переработок [1, 2, 3].

Предприятия с РП оснащены соответствующим технологическим оборудованием, в том числе и резервуарами различных геометрических форм, предназначенных для хранения различных продуктов и веществ (цемент, зерно, химические продукты, бензин, мазут, дизельное топливо и т.п.). С ростом резервуарного парка все большее значение придают количественному учету хранимых веществ и продуктов переработки, проблемам контроля, качества сырья в процессе хранения, а также внедрению технических средств, сокращающих потери, возникающих по эксплуатационным и аварийным причинам [4].

Современные технологии обслуживания такого технологического оборудования, как резервуарный парк, предусматривают два различных подхода к организации этого процесса: обслуживание по регламенту и обслуживание по состоянию. На большинстве РП в настоящее время используется обслуживание по регламенту.

Обслуживание технологического оборудования по состоянию предполагает проведение профилактических или ремонтных мероприятий по фактическому состоянию этого оборудования в текущий момент времени, определяемому в результате периодического или непрерывного контроля его технических параметров [8].

Поскольку резервуарный парк может состоять из множества резервуаров, находящихся на большом расстоянии друг от друга, диспетчеру, управляющему резервуарным парком, бывает сложно быстро и четко реагировать на те или иные ситуации, возникающие в технологическом процессе работы резервуарного парка. Поэтому риски, связанные с принятием решений в области управления резервуарным парком, высоки, а последствия неверных решений могут стоить больших средств.

Цель данного исследования — разработка и построение прототипа нечеткой ситуационной сети для помощи диспетчеру в управлении резервуарным парком. Данная ситуационная сеть ускорит принятие решений диспетчером и повысит качество управления резервуарным парком, минимизировав при этом риск принятия ошибочных решений.

В резервуарном парке существует множество ситуаций, определяющих технологический процесс. Принципы ситуационного управления основаны на выборе нужных управленческих решений из набора допустимых управляющих воздействий, определяемых сложившейся ситуацией. Выбор управляющих воздействий сводится к оценке состояния объекта и среды, отнесению соответствующей текущей ситуации к одному из типовых классов и выбору такого управляющего воздействия, которое обеспечит переход из текущей нештатной ситуации в целевую, т.е. штатную. Поэтому ситуационное управление включает описание и понимание ситуации, ее анализ, классификацию и дальнейшее преобразование [6]. Основной проблемой ситуационного управления является понимание ситуации, которая требует обработки большого количества разнородной информации. Понимание ситуации обеспечивает слияние разнородной информации об окружающей обстановке и дает возможность быстрого принятия решения [7].

В работе Поспелова Д. А. по теории ситуационного управления [7] предлагается различать текущую и полную ситуации. Исходя из предложенных Поспеловым Д. А. принципов ситуационного управления, необходимо рассматривать текущую ситуацию как совокупность всех сведений о структуре объекта управления и его функционировании в данный момент времени. Полной ситуацией называется совокупность, состоящая из текущей ситуации, знаний о технологии управления (возможных управляющих воздействиях) и состоянии системы управления в данный момент [7].

Технологические процессы в РП протекают в определенных диапазонах текущих параметров, выход за которые означает появление нештатной (аварийной) ситуации, связанной с нарушением технологического процесса.

Системы ситуационного управления должны иметь механизм принятия управленческих решений в условиях частичной или полной неопределенности. Однако большинство этих систем не содержат решения задач управления с целью обеспечения эффективности и безопасности ситуаций в резервуарном парке, поэтому возникает необходимость создания таких систем. Трудности идентификации возникающих технологических и аварийных ситуаций связаны со сложностью резервуарного парка как объекта управления и условий его функционирования. Все это делает невозможным применение для описания технологических и аварийных ситуаций в резервуарном парке теории управления, основанной на аппарате математических уравнений. Решение данной проблемы для резервуарных парков может быть получено на основе ситуационного управления [9] и построении логико-лингвистических моделей, обеспечивающих высокую степень адекватности описания ситуаций, возникающих в РП.

Для ситуационного управления нужен язык, который должен формировать лексику, требующуюся для описания ситуаций, возникающих в технологическом процессе РП. В качестве основных компонентов языка должны выступать понятия, имена, отношения. Далее необходимы действия по преобразованию ситуаций и процедуры управления этим действиями [5].

Для реализации ситуационного управления нужно описать ситуации, которые существуют в резервуарном парке, определить класс ситуаций, к которым они относятся, и сформировать управляющие

действия для конкретных классов ситуаций. Возможные ситуации для резервуарного парка представлены на рис. 1. В основе описания ситуации лежит представление о ней в мышлении и действиях человека. Одной из особенностей этого представления является его структурированность, т.е. представление ситуации в виде совокупности объектов, имеющих определенные имена, между которыми установлены отношения.

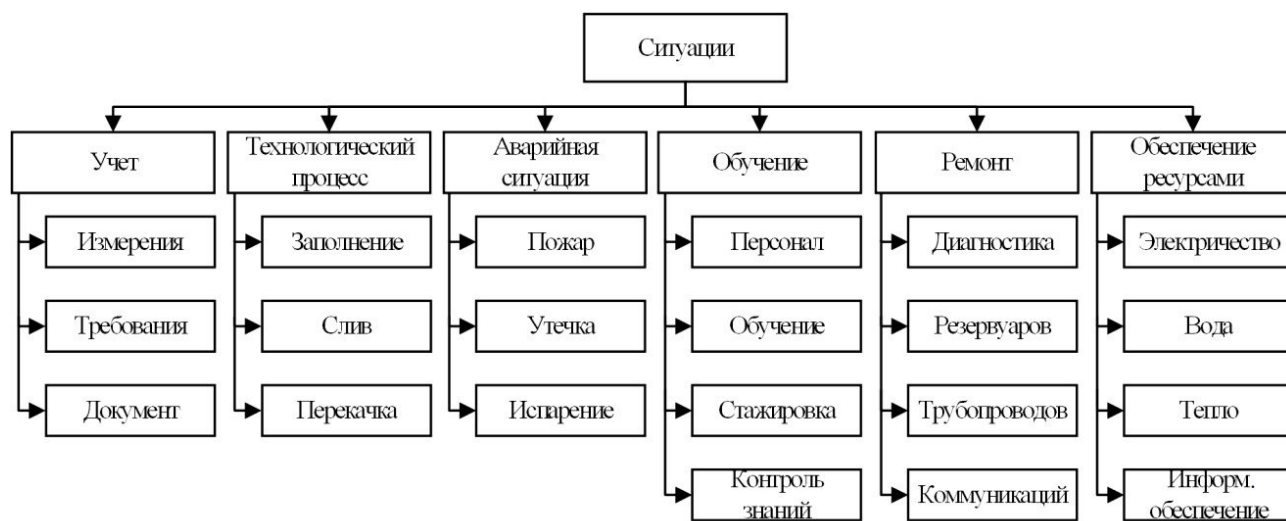


Рис. 1. Классы основных ситуаций резервуарного парка

Система ситуационного управления резервуарным парком представлена на рис. 2. Система датчиков регистрирует параметры резервуаров парка и передает их на вход системы.

Задача следующего модуля — преобразовать данные, выделить признаки описания ситуации и затем передать их на вход анализатора, который определяет необходимость вмешательства управляющего воздействия в систему и идентифицирует класс ситуации.

В ситуации могут одновременно присутствовать несколько классов, или ситуация принадлежит нескольким классам, в этом случае нужен классификатор, позволяющий вычислять приоритеты классов по определенным критериям.



Рис. 2. Система ситуационного управления резервуарным парком

Классификатор на основе нейронной сети выбирает определенную модель ситуации (СМ), и если несколько моделей претендуют на текущую, то возникает нечеткость, которая определяется степенью нечеткости (функциями принадлежности).

Блок формирования управляющих воздействий (БФУВ) формирует управляющие воздействия, основываясь на классе и модели конкретной ситуации. БФУВ содержит конечное множество необходимых управляющих воздействий и логики, вычисляющие управляющие воздействия для каждого из

классов ситуаций. Таким образом, на выходе работы системы ситуационного управления формируется либо управляющее воздействие, направленное на выполнение действий и устранение нештатных ситуаций, либо выдаются советы и рекомендации диспетчеру РП.

В качестве меры близости для распознавания ситуации, в которой находится РП как объект управления, используется степень включения входной ситуации S_0 в каждую из типовых нечетких ситуаций S_i . В работе использована нечеткая ситуационная модель типа «ситуация — стратегия управления — действие» (С-СУ-Д), потому что такие модели менее критичны к качеству экспертной информации. При таком подходе предполагается хранение только набора типовых ситуаций и степеней предпочтения соответствующих управляющих решений, которые можно представить в виде нечеткой ситуационной сети (НСС).

Такой сложный объект, как резервуарный парк, обладает множеством независимых входных и выходных параметров, характеризующих состояние системы неоднозначным образом. Поэтому построение нечеткой модели требует большого количества продукционных правил, число которых экспоненциально возрастает с увеличением входов модели, что снижает качество нечеткого логического вывода. В этом случае целесообразно оперировать не конкретными параметрами системы, а классами ее состояний, что приводит к уменьшению объема базы знаний и повышению точности управления ситуацией. Поэтому управление таким сложным объектом, как резервуарный парк, должно осуществляться не по его параметрам, а по состояниям [10, 11].

Количество возможных управляющих воздействий зависит от числа кластеров, выявленных в процессе кластеризации, и определяется технологическим процессом РП. В соответствии с определенными управляющими воздействиями выделяется и набор признаков описания состояния объекта, значения которых необходимо учитывать при принятии решений. Для качественной классификации состояния желательно иметь оценку всех признаков, влияющих на выбор управляющего воздействия [12].

Каждый выделенный на первом этапе признак и управляющее воздействие представляются лингвистическими переменными. Функции принадлежности термов, являющихся значениями лингвистических переменных, формируются на основании опроса эксперта, оценивающего, насколько соответствует каждая точка предметной шкалы лингвистической переменной тому или иному терму.

Разработанный алгоритм нечеткого ситуационного управления содержит модуль кластеризации и модуль нечеткого ситуационного управления, формирующий вывод управляющих воздействий по нечеткой ситуационной сети в зависимости от изменения входной ситуации. В основе модуля классификации лежат процедуры нечеткого вывода по алгоритму нечетких средних. Результатом работы модуля является нечеткое покрытие пространства состояний объекта нечеткими классами типовых ситуаций (кластерами). Основными этапами модуля ситуационного вывода являются:

- сравнение текущей ситуации с набором эталонных ситуаций;
- расчет степени сходства на основе значения нечеткого включения;
- определение требуемой ситуации для определенной стратегии управления;
- расчет процедуры управления по нечеткой ситуационной сети.

Модули используют лингвистические переменные, правила вывода, целевые ситуации или стратегии управления из базы нечетких знаний.

Резервуарный парк может находиться в одном из множества возможных состояний (S). Каждое состояние S_i может быть штатным и нештатным (аварийным). Также имеется набор управляющих действий R для перехода из одного состояния в следующее. Из состояний S и управляющих действий R построен ориентированный граф нечеткой ситуационной сети, где S — вершины графа, R — дуги. При этом каждому действию соответствует функция принадлежности, значения которой лежат в промежутке $[0;1]$, определяющие приоритет управляющего воздействия.

Управляющее решение с большим значением функции принадлежности будет выбрано системой с большей вероятностью.

Методика ситуационного моделирования:

1. Определить, в каком из состояний, описанных в графе возможных ситуационных состояний, находится система в конкретный момент.
2. Определить штатность текущего состояния.
3. Если текущее состояние не является штатным, то найти по графу выход из текущего состояния

до штатного.

4. Предоставить пользователю список управляющих действий для перевода системы из нештатного состояния в штатное.

Для прототипа нечеткой ситуационной сети (НСС) был разработан граф нескольких возможных ситуаций с набором управляющих решений (рис. 3).

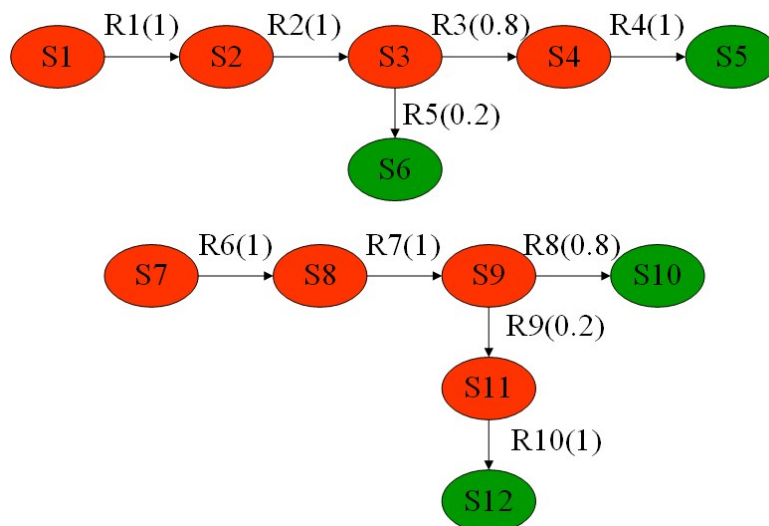


Рис. 3. Граф состояний для НСС резервуарного парка

Для описания состояний резервуарного парка использовались следующие параметры:

1. Объем вещества в резервуаре (минимальный, средний, максимальный).
2. Скорость заполнения резервуара (низкая, средняя, высокая).
3. Степень востребованности вещества (низкая, высокая).
4. Состояние подачи вещества (вкл., выкл.).

Штатные ситуации помечены зеленым цветом, нештатные — красным.

Условия функционирования:

1. Штатные состояния. Объем — максимальный или средний. Скорость — высокая или низкая. Востребованность — высокая. Состояние подачи вещества — выкл.
2. Нештатные состояния. Остальные.

Подробное описание ситуаций приведено в табл. 1.

Подробное описание управляющих действий приведено в табл. 2.

В качестве примера для определения объема вещества в резервуаре приведена зависимость треугольной функции принадлежности, изображенной на рис. 4. Единицы измерения объема — тыс. кубометров; единицы измерения скорости заполнения резервуара — тыс. кубометров в час.

Разработанный программный продукт состоит из следующих модулей (рис. 5):

1. Модуль сбора данных.
2. Нечеткий логический модуль.
3. Модуль функций принадлежности.
4. Модуль вывода данных.

Вектор входных данных подается на вход. Его принимает модуль сбора данных, который представлен в виде веб-интерфейса. Полученные данные передаются в нечеткий логический модуль, в котором с использованием функций принадлежности вычисляется состояние системы (с наибольшей степенью уверенности). После этого осуществляется поиск полученного состояния по графу возможных состояний. Если состояние найдено, определяется его штатность. В случае, если текущее состояние системы определено как нештатное, алгоритм ищет путь до штатного состояния, сохраняя шаги управляющего воздействия. В модуль выходных данных подается текущее состояние системы, штатность состояния и список управляющих воздействий для перевода системы в штатное состояние, если текущее состояние оказалось нештатным.

Таблица 1

Описание возможных ситуаций резервуарного парка

ID Ситуации	Объем	Скорость	Степень востребованности	Состояние подачи вещества	Штатность ситуации
S1	Низкий	Высокая	Высокая	Выкл.	Нештатная
S2	Средний	Высокая	Высокая	Вкл.	Нештатная
S3	Средний	Высокая	Высокая	Вкл.	Нештатная
S4	Максимальный	Высокая	Высокая	Вкл.	Нештатная
S5	Максимальный	Низкая	Высокая	Выкл.	Штатная
S6	Средний	Высокая	Высокая	Выкл.	Штатная
S7	Минимальный	Низкая	Низкая	Выкл.	Нештатная
S8	Минимальный	Низкая	Низкая	Вкл.	Нештатная
S9	Средний	Низкая	Низкая	Вкл.	Нештатная
S10	Средний	Низкая	Низкая	Вкл.	Штатная
S11	Максимальный	Низкая	Низкая	Вкл.	Нештатная
S12	Максимальный	Высокая	Низкая	Выкл.	Штатная

Таблица 2

Описание управляющих действий резервуарного парка

ID управляющего воздействия	Описание
R1	Включить подачу вещества
R2	Измерить объем, оставить подачу включенной
R3	Измерить объем, оставить подачу включенной
R4	Выключить подачу вещества
R5	Выключить подачу вещества
R6	Включить подачу вещества
R7	Измерить объем, оставить подачу включенной
R8	Выключить подачу вещества
R9	Измерить объем, оставить подачу включенной
R10	Выключить подачу вещества

Модуль выходных данных также представлен в виде веб-интерфейса. Схема алгоритма нечеткого логического модуля приведена на рис. 6.

Пример работы НСС

Пусть на вход системы поданы следующие параметры:

1. Объем вещества в резервуаре 7 тыс. кубометров (минимум, доля уверенности 0.6).
2. Скорость заполнения резервуара 14 тыс. кубометров в час (максимум, доля уверенности 0.8).
3. Степень востребованности вещества 800 тыс. кубометров в месяц (высокая доля уверенности 0.6).
4. Подача вещества в резервуар выключена.

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что система находится в состоянии S1, которое является нештатным. Чтобы перевести систему из нештатного в штатное состояние, подобрана следующая цепочка управляющих воздействий:

1. R1 — включить подачу вещества.
2. R2 — измерить объем, оставить подачу включенной.
3. R3 — измерить объем, оставить подачу включенной.
4. R4 — выключить подачу вещества.

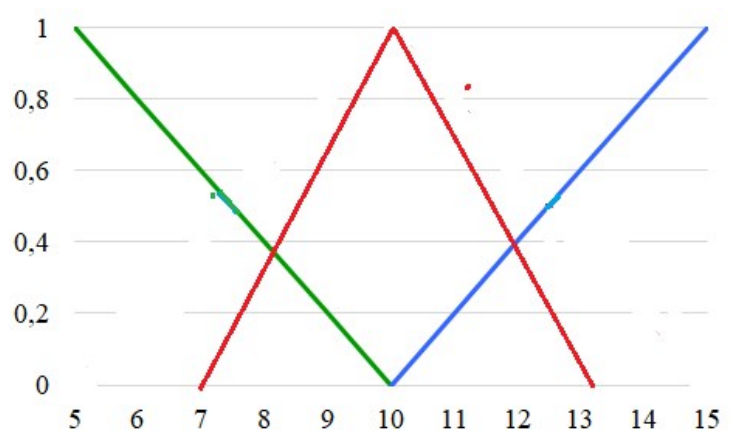


Рис. 4. График функции принадлежности для лингвистической переменной «Объем вещества в резервуаре»

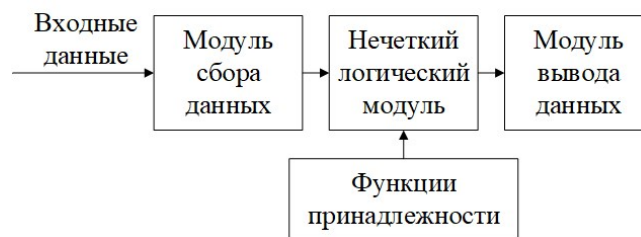


Рис. 5. Структура программной системы

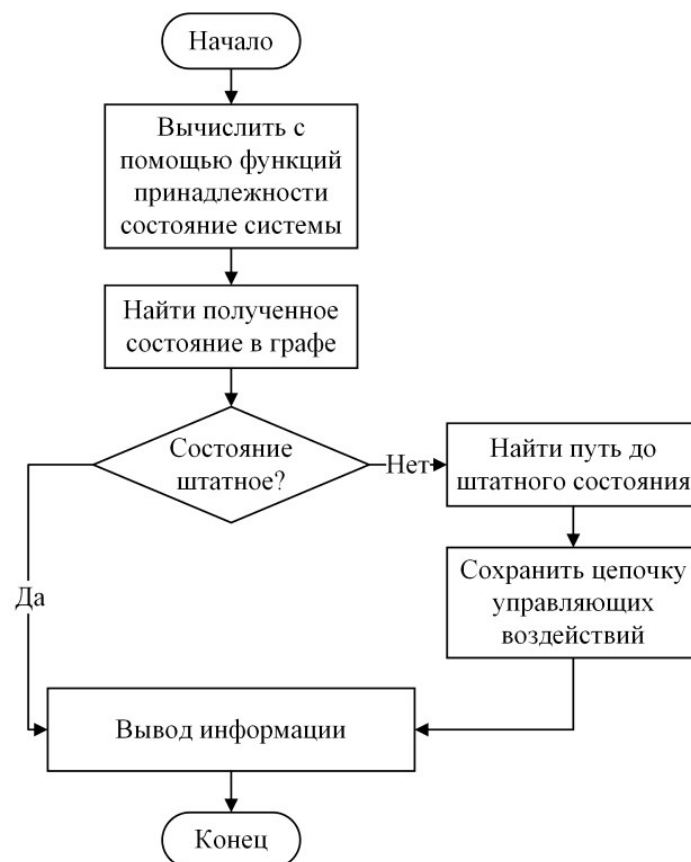


Рис. 6. Структурная схема алгоритма нечеткого модуля

После совершения этих действий система переходит в состояние S5, которое является штатным.

Заключение

На основе процедуры построения нечетких сетей создан прототип нечеткой ситуационной сети для управления резервуарным парком. Программный интерфейс предоставляет возможность ввода параметров сети, программный модуль определяет состояние резервуарного парка, оценивает благоприятность ситуации и предоставляет оператору список управляющих воздействий для перевода системы из нештатного состояния в штатное. Данный подход позволит автоматизировать управление резервуарными парками и снизить риски, связанные с ошибочными решениями, принимаемыми оператором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковкин В. И., Замятин Н. В. Система мониторинга и обработки информации о состоянии резервуарного парка. *Электронные средства и системы управления*: матер. 11-й Междунар. научно-практической конф. Томск. 2015;2:95–100.
2. Маковкин В. И., Замятин Н. В. Автоматизированная система мониторинга резервуарного парка. *Доклады ТУСУР*. 2010;19(4):93–97.
3. Смирнов Г. В., Замятин Н. В. Пат. 2 636 794 РФ, МПК G 01 F 23/292 (2006.01). *Способ контроля параметров сыпучих или жидких материалов в резервуарах*. № 2 016 117 229; заявл 29.04.2016; опубл. 28.11.2017.
4. Маковкин В. И., Замятин Н. А., Смирнов Г. В. Обеззараживание и использование антропогенных отходов в ресурсосберегающих строительных технологиях. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;9:164–174.
5. Барышникова Е. С., Иващенко В. А. Система ситуационного управления производством листового стекла. *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2009;2(1):91–96.
6. Кригер Л. С. Нечеткая ситуационная сеть для управления движением общественного транспорта. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2013;1:90–96.
7. Пospelов Д. А. *Ситуационное управление: Теория и практика*. Москва: Наука; 1986. 288 с.
8. Воронина О. А., Лобанова В. А. Информационное представление системы управления множеством нечетких ситуаций. *Известия ОрелГТУ. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии*. 2007;4:48–50.
9. Васильев Е. М., Головачев А. И. Выбор оптимальных параметров лингвистических экспертных систем. *Электротехнические комплексы и системы управления*. 2006;2:57–59.
10. Шопин А. В., Бучацкий П. Ю. Особенности нечеткого управления сложными техническими системами. *Труды докторантов, аспирантов и соискателей*. Ч. 1. Майкоп, 2000. С. 19–24.
11. Разин В. В., Тузовский А. Ф. Анализ ситуаций с применением семантических технологий. *Доклады ТУСУР*. 2010;22(2). Ч. 2. С. 238–240.
12. Matheus C. J., Kokar M. M., Baclawski K., Letkowsky J. J. An Application of Semantic Web Technologies to Situation Awareness. *Lecture Notes in Computer Science*. 2005;3729:944–958.