

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 665.622.43.066.6: 004.942

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

И.В. Артюшкин

АО Институт по проектированию и исследовательским работам
в нефтяной промышленности «Гипровостокнефть»
Россия, 443041, г. Самара, ул. Красноармейская, 93

***Аннотация.** Рассмотрен практический опыт синтеза модели технологического процесса разделения водонефтяной эмульсии. В современной литературе процесс не имеет точного аналитического описания, а его параметры нелинейно зависят друг от друга. Источником данных для модели послужила серия лабораторных экспериментов, проведенных с использованием аттестованных методик исследования нефти. Получившиеся таблицы имеют пропуски из-за нерегулярного шага значений параметров. Для моделирования нелинейного процесса использовался метод Левенберга – Марквардта для обучения нейронной сети. Проведен анализ, определивший критерии качества модели. Для автоматизации процесса моделирования использовался программный комплекс MATLAB, а также модуль Neural Network Toolbox. Обучение нейронной сети на исходном массиве данных показало, что вследствие наличия пропусков значений параметров и малого размера обучающей выборки не представляется возможным получение адекватной нейросетевой модели без предварительной подготовки данных. Для заполнения пропусков значений данных был использован метод интерполяции сплайнами Эрмита в условиях ограничений минимальными и максимальными значениями параметров из набора данных. Благодаря этому удалось расширить обучающий набор данных для нейронной сети в 40 раз. Дальнейшее обучение нейронной сети показало, что воспроизведение обучающей выборки производится с высокой точностью, а критерии качества модели показывают приемлемые значения. На основе полученной четырехмерной модели можно проводить различные виды анализа – как экспертного, так и автоматизированного. Результаты анализа могут быть основой для выдачи рекомендаций по организации и проведению технологического процесса подготовки нефти, а также синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью.*

Ключевые слова: нейронная сеть, моделирование, эмульсия, обезвоживание нефти.

Введение

При добыче нефти важной задачей является отделение воды с растворенными в ней солями с целью предотвращения коррозии технологического оборудования и снижения расхода энергии на транспортировку балластной жидкости.

Для обезвоживания водонефтяной эмульсии к ней подмешивают и равно-

мерно распределяют по всему объему химический реагент – деэмульгатор, который представляет собой поверхностно-активное вещество. Процесс протекает за счет уменьшения силы поверхностного натяжения капель воды, находящихся в нефти, благодаря чему капли воды объединяются и оседают на дно, образуя сплошной слой. За время процесса не происходит химических реакций, то есть не происходит изменения молекулярной структуры веществ.

Химический состав нефти и пластовой воды, а также наличие в них механических примесей обусловлены геологическими факторами различных географических регионов. Реологические свойства (вязкость, текучесть) и эмульгирующие способности различаются в зависимости от места добычи.

Современные системы управления процессом обезвоживания не учитывают весь комплекс факторов, влияющих на скорость отделения воды от нефти [1–3]. Создание автоматизированной системы, предсказывающей состояние процесса на основании эталонной модели, могло бы повысить качество управления таким многопараметрическим процессом, как разделение водонефтяной эмульсии [4, 5].

1. Постановка задачи

Необходимо построить модель процесса разделения водонефтяной эмульсии, идентифицировать управляющие параметры и определить управляемую величину. Модель должна быть пригодна для работы в широком диапазоне параметров с достаточной для выполнения анализа и прогнозирования точностью [6, 7]. Также необходимо определить критерии, по которым будет оцениваться качество модели.

Таблица 1

**Результаты теплехимического обезвоживания нефти
(обводненность 19,8 % об., $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Наименование реагента	Расход реагента (Q)		Содержание воды в нефти (W_2), % об., после отстаивания за время (T), мин					Отделилось воды (E), %, за время отстаивания (T), мин				
	г/м ³ жидк.	г/т нефти	15	30	60	90	120	15	30	60	90	120
Без реагента	0	0	0	0	0	0	0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
ДЭ-1	15	21	0	2,5	5,0	7,6	10,1	19,8	19,4	19,0	18,5	18,1
	30	42	0	5,2	10,4	15,6	20,8	19,8	19,0	18,1	17,4	16,3
	60	84	2,5	12,6	27,8	35,4	40,4	19,4	17,7	15,1	13,8	12,8
ДЭ-2	15	21	10,4	23,4	39,1	44,3	49,5	18,1	15,9	13,1	12,1	11,1
	30	42	36,8	52,6	65,8	71,7	73,7	13,5	10,5	7,8	6,7	6,1
	60	84	67,7	88,5	88,5	9,1	91,1	7,4	4,0	2,8	2,3	2,3

Для построения модели процесса термехимического обезвоживания взяты отчеты лабораторных исследований нефтей различных месторождений [8]. Источником данных послужил отчет об исследовании качества разделения водонефтяной эмульсии при воздействии деэмульгаторов ДЭ-1 и ДЭ-2. Эксперимент

проводился с нерегулярным шагом по входным параметрам. Данные представлены в табличном виде с группировкой относительно различных значений действующих параметров. Данные для температуры нагрева 40 °С представлены в табл. 1.

Значение параметра E рассчитывается по формуле

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1}, \quad (1)$$

где W_1 – исходная обводненность;

W_2 – обводненность после эксперимента.

Полнота таблицы экспериментальных данных является определяющим фактором при проведении анализа. Пропуск или недостоверность значений параметров могут привести к искажению результата процесса моделирования [9].

Наибольшую эффективность обезвоживания в представленной серии экспериментов показал деэмульгатор под обозначением ДЭ-2. Его показатели качества обезвоживания и рассмотрены в качестве источника данных.

2. Управляющие параметры

Действующие параметры – температура подогрева эмульсии, количество введенного деэмульгатора в пересчете на массовый эквивалент смеси (расход в граммах на тонну), а также время отстаивания.

Моделирование производится при условии, что эмульсия имеет вид «вода в нефти» (эмульсия второго рода) и процесс разделения водонефтяной эмульсии происходит однообразно с одинаковой скоростью при любом процентном содержании воды – от 0 % до точки инверсии фаз (50–60 % об.), когда эмульсия меняет вид на «нефть в воде» (эмульсия первого рода).

Для построения модели введен относительный параметр – эффективность разделения эмульсии E , который рассчитывается по формуле (1) и принимает значения от 0 до 1. Параметр описывается нелинейной функцией вида

$$E = f(Q, t, T), \quad (2)$$

где Q – расход реагента;

t – температура нагрева;

T – время отстаивания.

Исходная таблица экспериментальных данных для моделирования имеет размерность 110×4, то есть 110 сочетаний значений параметров Q , t , T , E .

При анализе экспериментальных данных прослеживается прямая корреляция между расходом деэмульгатора и долей отделившейся воды, а также между температурой нагрева и долей отделившейся воды. Таким образом, модель процесса должна быть монотонно возрастающей в пределах рабочих значений параметров. Следовательно, качество модели определяется следующими параметрами:

- 1) минимальное значение дисперсии непрерывной функции;
- 2) неотрицательные значения частных производных на всем диапазоне моделирования $\frac{\partial E}{\partial Q} \geq 0; \frac{\partial E}{\partial t} \geq 0; \frac{\partial E}{\partial T} \geq 0;$

- 3) дополнительные критерии определения качества модели.

3. Построение модели экспериментальных данных

В качестве инструмента создания модели экспериментальных данных технологического процесса предложено использовать искусственную нейронную сеть (ИНС). В отличие от других методов моделирования, данный способ позволяет найти зависимости в больших массивах данных, предоставляя возможности для дальнейшего подробного анализа полученной модели.

Обучение нейронной сети [10–14] производилось с помощью модуля Neural Network Toolbox программного комплекса MATLAB. Как дополнительный критерий качества при обучении рассчитывался параметр Performance, представляющий собой интегральный показатель среднеквадратичной ошибки (функция MSE) по следующей формуле:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_i^*)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где x_i – значение обучающего параметра;

x_i^* – значение параметра на выходе нейросети;

N – количество обучающих примеров.

Для расчета стандартного отклонения $std(E)$ функции двух переменных используется расчет отдельно по каждой из них по формуле

$$std(A) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left| A_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \right|^2}, \quad (4)$$

где A – массив данных;

N – количество обучающих примеров.

В табл. 2 представлены значения критериев качества для нейросетевых моделей с различным количеством нейронов в скрытом слое.

Таблица 2

Показатели качества модели

Кол-во нейронов	Performance	Дисперсия по Q	Дисперсия по t	Знак первой производной
1	0.0177	9.2437	16.1609	Положительный
2–5	~0.0001	9.1857	23.2762	Неотрицательный
10–20	~10 ⁻¹²	10.041	20.1697	Неотрицательный
21–100	~10 ⁻¹³	11.491	27.3278	Переменный

При нейросетевом моделировании возникают следующие проблемы:

1) при 1 нейроне в скрытом слое моделирование производится неудовлетворительно (рис. 1, а), так как показатель $MSE = 0.0177$, что сравнимо с порядком величины E ;

2) при небольшом количестве нейронов в скрытом слое (2–5) моделирование также производится неудовлетворительно (рис. 1, б). Показатель $MSE \approx 0.0001$. В то же время показатель отклонения по t увеличивает свое значение;

3) при среднем количестве нейронов в скрытом слое (10–20) моделирование в точках известных значений производится удовлетворительно, $MSE \approx 10^{-12}$. В то же время значения отклонений высокие. На графике в местах отсутствия

обучающей выборки наблюдаются провалы и пики (рис. 1, в);

4) при большом количестве нейронов (21–100) показатель Performance (2) принимает наименьшее значение ~10–13. Функция перестает быть монотонно возрастающей, так как меняется знак первой производной. На графике в областях отсутствия обучающей выборки пики и провалы еще больше (рис. 1, г).

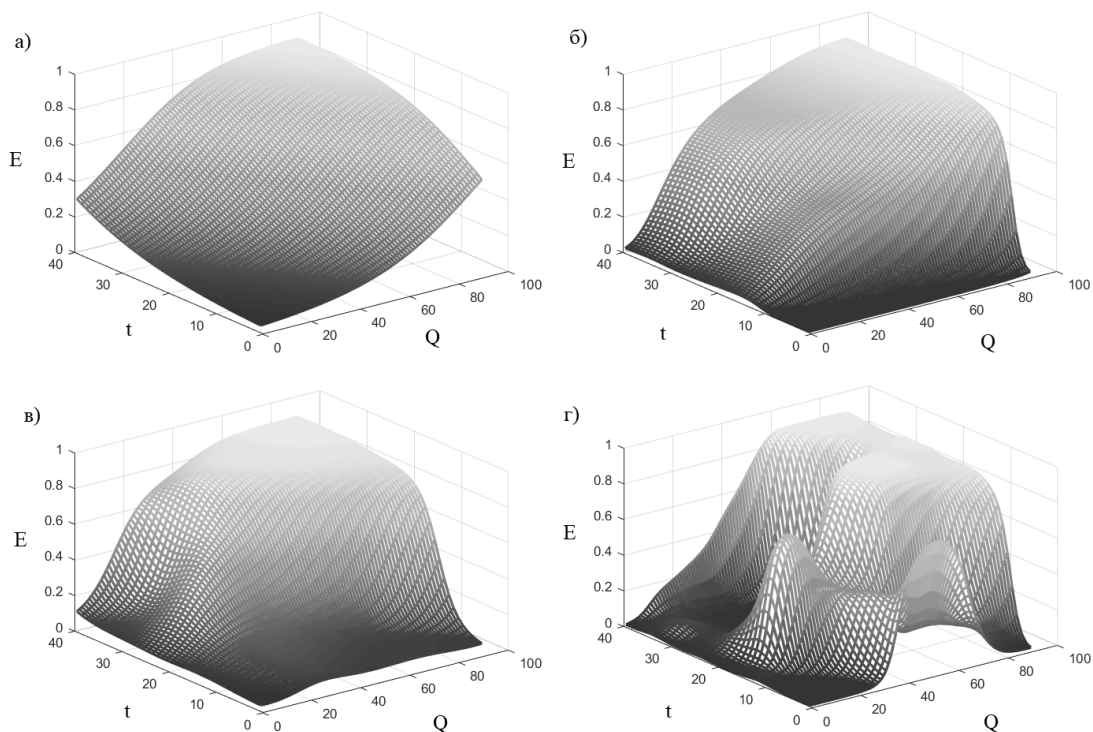


Рис. 1. Графики с выходов нейросетей с различным количеством нейронов в скрытом слое:

- а) нейросеть с 1 нейроном; б) нейросеть с 5 нейронами;
- в) нейросеть с 20 нейронами; г) нейросеть со 100 нейронами

Таким образом, с прямой задачей заполнения значений между известными наборами данных нейросеть не справляется. Необходимо либо использовать нейросеть с малым количеством нейронов, либо изменить архитектуру нейросети, либо увеличить обучающую выборку.

Для заполнения отсутствующих данных в таблице существуют различные методы [15]:

- 1) заполнение пропущенных значений усредненными данными;
- 2) метод ближайших соседей;
- 3) регрессионный метод;
- 4) интерполяционный метод.

Для расширения обучающего набора данных был применен метод поэлементной интерполяции функции $E = f(Q, t, T)$ кубическими полиномами Эрмита. Отличие данного метода заключается в том, что интерполируемая функция задается не только набором данных, но и их первыми производными, что усложняет вычисления, но дает преимущество в точности.

Функция имеет следующий вид:

$$p(u) = (2u^3 - 3u^2 + 1)p_k + (u^3 - 2u^2 + u)(x_{k+1} - x_k)m_k + (-2u^3 + 3u^2)p_{k+1} + \dots + (u^3 - u^2)(x_{k+1} - x_k)m_{k+1}, \quad (5)$$

где переменная u представляет собой замену параметра из набора данных x по формуле

$$u = \frac{(x - x_k)}{(x_{k+1} - x_k)}, \quad (6)$$

переменная m является центральной разностной производной:

$$m_k = \frac{p_{k+1} - p_k}{2(u_{k+1} - u_k)} + \frac{p_k - p_{k-1}}{2(u_k - u_{k-1})}. \quad (7)$$

При фиксировании двух параметров – температуры и времени отстаивания – получается функция одного параметра – зависимость эффективности обезвоживания от дозировки реагента-деэмульгатора. В программном комплексе MATLAB для интерполяции сплайнами Эрмита используется функция `rchinterp` из пакета Curve Fitting Toolbox, которая лучше всего справляется с интерполяцией данных в границе экспериментальных значений. При необходимости на небольшом доверительном интервале с помощью `rchinterp` можно проводить и экстраполяцию.

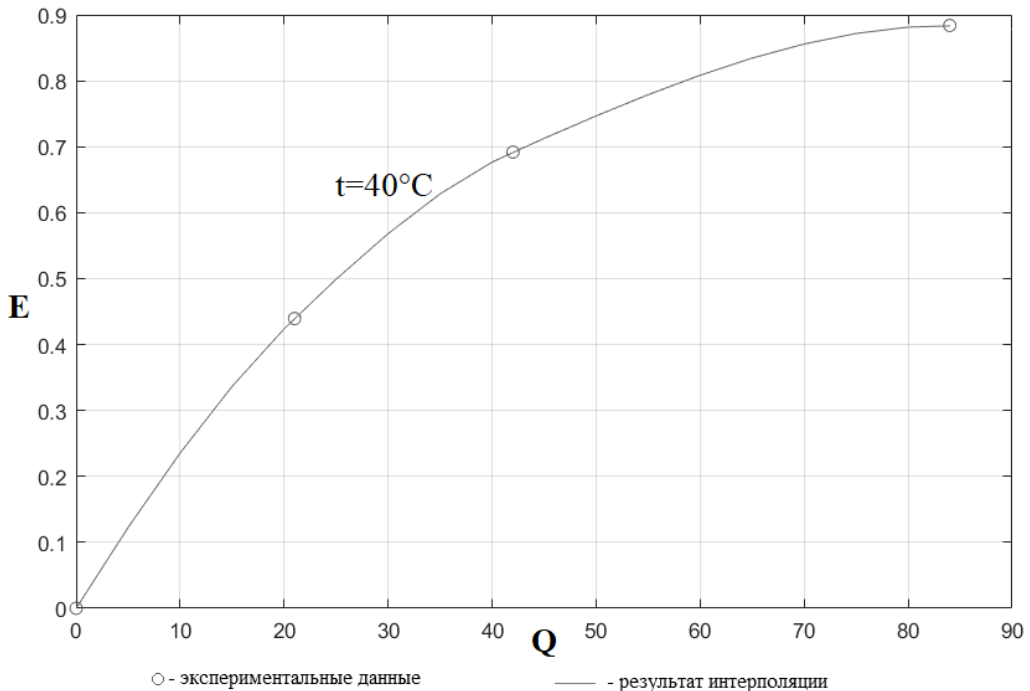


Рис. 2. График после расширения данных по оси расхода деэмульгатора: температура 40 °C, время отстаивания 120 мин

Набор данных после расширения по оси Q представлен на рис. 2, 3.

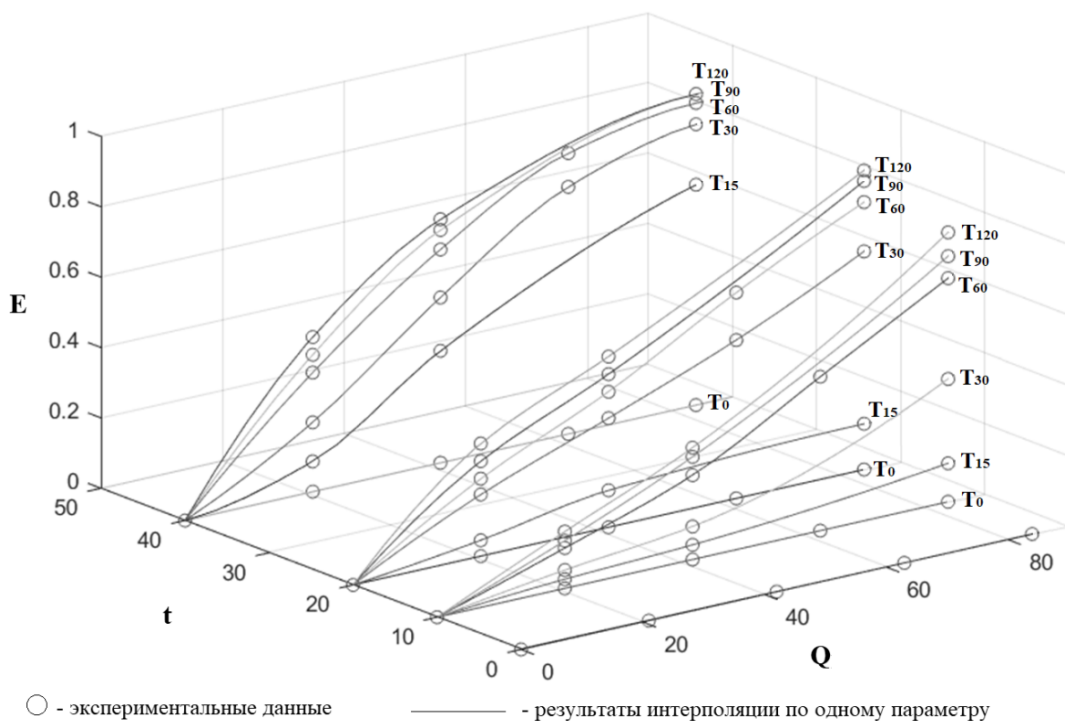


Рис. 3. Экспериментальные данные после расширения по расходу деэмульгатора при различном времени отстаивания (0, 15, 30, 60, 90, 120 мин)

Аналогичным образом проведено расширение для значений второго параметра – температуры нагрева эмульсии. При этом фиксируются значения времени и расхода реагента-деэмульгатора.

Финальный этап расширения обучающего набора данных – это фиксирование значений расхода реагента-деэмульгатора и температуры нагрева эмульсии для интерполяции по времени отстаивания.

4. Обучение нейросети на расширенных данных

Изначальный массив экспериментальных данных имел размер 110×4 . После расширения данных полученный массив имеет в своем составе 4275×4 , то есть 17100 элементов, среди которых 4275 целевых выходных значений, на основе которых производится обучение нейронной сети. Для этого используется модуль Neural Network Toolbox из состава программного комплекса Matlab.

Подбор оптимальной структуры нейронной сети произведен экспериментально. Обучение проведено методом Левенберга – Марквардта. Параметр Performance = $3.18 \cdot 10^{-6}$.

Поверхность, которую генерирует обученная нейронная сеть, представлена на рис. 4.

Показатели качества обученной нейросети, обученной на расширенном массиве данных, представлены в табл. 3.

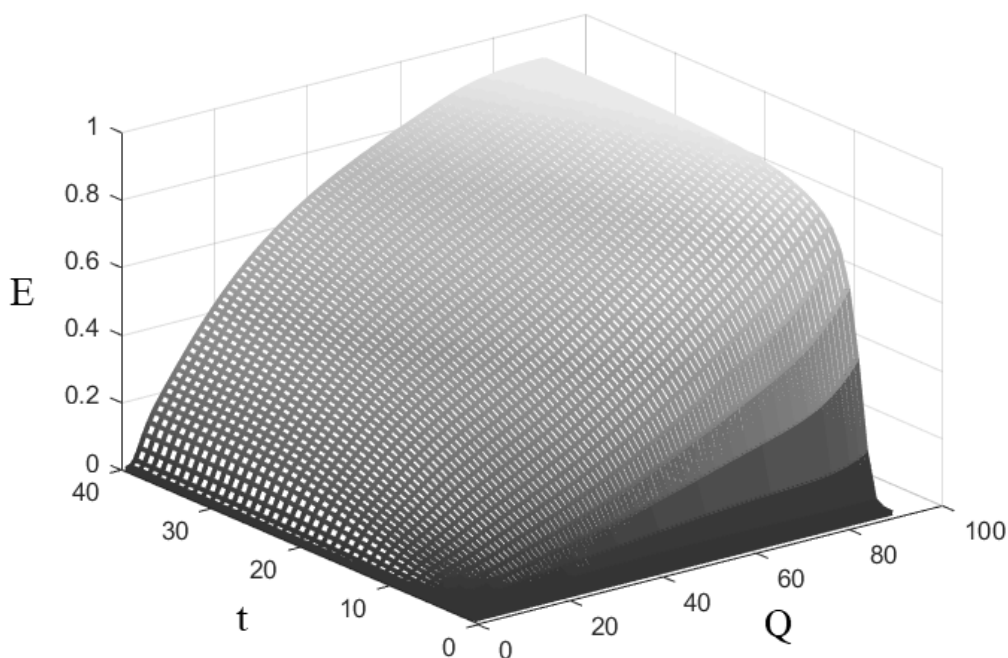


Рис. 4. Выходные данные обученной на расширенном наборе данных нейросети

Таблица 3

Показатели качества итоговой нейросети

Кол-во нейронов	Performance	Дисперсия по Q	Дисперсия по t	Знак первой производной
100	$5.23 \cdot 10^{-7}$	8.9224	15.3233	Неотрицательный

В результате расширения данных обученная нейросеть корректно воспроизводит экспериментальные данные в рабочем диапазоне параметров. Показатели качества имеют удовлетворительные значения, функция E монотонно возрастает, показатели отклонений имеют наименьшее значение по сравнению с исходным набором данных.

Заключение

С помощью методов интерполяции и возможностей нейронных сетей по моделированию графиков удалось создать модель процесса в виде MISO-системы на основе экспериментальных данных, количество которых изначально не позволяло сразу приступить к обучению нейронной сети и получить представительную модель. Итоговая точность модели процесса в рамках предполагаемых способов использования считается приемлемой.

Полученная нами нейросетевая модель процесса обезвоживания нефти может использоваться в качестве эталонной модели в адаптивной системе управления на реальном производственном объекте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М: Недра, 1982.
2. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – Казань, 2000.
3. Путохин В.С. Математическое моделирование технологического процесса обезвоживания

- нефти на промыслах // Нефть и газ. – М.: МИНХ и ГП, 1977. – С. 37–42.
4. Вережкин А.П., Ельцов И.Д., Зозуля Ю.И., Кирюшин О.В. Оперативное управление технологическими процессами подготовки нефти по технико-экономическим показателям // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2006. – № 3. – ОАО «ВНИИОЭНГ». – С. 48–53.
 5. Андреев Е.Б., Ключников А.И., Кротов А.В., Попадько В.Е., Шарова И.Я. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: Учеб. пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с: ил.
 6. Артюшкин И.В. Возможность создания комплексной экспертной автоматизированной системы управления процессом промысловой подготовки нефти // Нефтяное хозяйство. – 2016. – Вып. 6. – С. 29–31.
 7. Артюшкин И.В., Максимов А.Е. Разработка автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий на основе искусственной нейронной сети // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2017. – Вып. 1 (53). – С. 7–15.
 8. Бортников А.Е., Кордик К.Е., Савиных А.В., Ницин А.С. Некоторые результаты лабораторных экспериментов по разрушению водонефтяной эмульсии под воздействием равномерного электрического поля // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – Вып. 9. – С. 48–56.
 9. Jerzy W. Grzymala-Busse, Teresa Mroczek. Definability in Mining Incomplete Data // Procedia Computer Science, Volume 96, 2016. – pp. 179–186.
 10. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск, 2006.
 11. Каплан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М., 2001.
 12. Neural Network Software, About NeuroSolutions. URL: <http://www.neuroproject.ru/aboutproduct.php> (дата обращения 02.09.2018).
 13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation: 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006.
 14. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2006.
 15. Сташкова О.В., Шестопал О.В. Использование искусственных нейронных сетей для восстановления пропусков в массиве исходных данных // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Технические науки. – Ростов-н/Д, 2017. – Вып. 1. – С. 37–42.

Статья поступила в редакцию 5 июня 2018 г.

NEURAL NETWORK MODELING FOR PROCESS OF OIL DEHYDRATION ON THE BASIS OF INCOMPLETE EXPERIMENTAL DATA

I.V. Artyushkin

Joint Stock Company Institute for Design and Research in Oil Industry «Giprovoستokneft»
93, Krasnoarmeyskaya st., Samara, 443041, Russian Federation

Abstract. *The practical experience of synthesis of the model for the water-oil emulsion separation process is considered. In modern literature, the process does not have an accurate analytical description, and its parameters are nonlinearly depend on each other. The source of the data for the model is a series of laboratory experiments conducted using certified oil test methods. The resulting tables have gaps due to an irregular step in the values of the parameters. To simulate a nonlinear process, the Levenberg-Marquardt method was used to train the neural network. An analysis was made that determined the quality criteria for the model. To automate the modeling process, the MATLAB software complex was used, as well as the Neural Network Toolbox. The training of the neural network on the original data set showed that, due to missing parameter values and a small training sample size, it is not possible to obtain an adequate neural network model without preliminary*

Iliya V. Artyushkin, Postgraduate Student.

data preparation. To fill in the missing data values, the method of interpolation with Hermite splines was used in the conditions of constraints by the minimum and maximum values of the parameters from the data set. With the help of this method, it was possible to expand the training data set for the neural network by 40 times. Further training of the neural network showed that the reproduction of the training sample is performed with high accuracy, and the quality criteria of the model show acceptable values. Based on the obtained four-dimensional model, it is possible to conduct various types of analysis, both expert and automated. The results of the analysis can be the basis for issuing recommendations on the organization and conducting of the technological process of oil treatment, as well as the synthesis of an adaptive control system with a reference model.

Keywords: neural network, modeling, emulsion, oil dehydration.

REFERENCES

1. *Pozdnyshev G.* Stabilizaciya i razrushenie neftyanikh emulsiy [Stabilization and destruction of oil emulsions]. – M: Nedra, 1982.
2. *Tronov V.* Promyslovaya podgotovka nefi [Oil treatment]. – Kazan, 2000.
3. *Putohin V.* Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskogo processa obezvozhivaniya nefi na promyslah [Mathematical modeling of the technological process of oil dehydration]. – V.Sb.: Oil and gas, M.: MINH and GP, 1977, p. 37–42.
4. *Verevkin A.P.* Operative management of technological processes of oil preparation on technical and economic indicators / Verevkin A.P., Eltsov I.D., Zozulya Yu.I., Kiryushin O.V // *Avtomatizaciya, telemekhanizaciya i svyaz' v neftyanoj promyshlennosti*, No. 3, 2006. – JSC VNIOENG. – P. 48–53.
5. *Andreev E.* Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov dobychi i podgotovki nefi i gaza [Automation of technological processes of oil and gas extraction and treatment] / Andreev E., Klyuchnikov A., Krotov A., Popad'ko V., Sharova I.: Textbook for high schools. – M : OOO Nedra-Business Center, 2008. – 399 s: ill.
6. *Artiushkin I.* The possibility of creating an integrated expert automated system for managing the process of oil production processing // *V nauch.-tekh. Journal: Oil Industry*. Vol. 1113. – Moscow. – P. 29–31.
7. *Artiushkin I.* Automated process control system design for thermochemical dehydration based on neural network / Artiushkin I.V., Maksimov A.E. // *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Un-ta. Ser. Tekhn. Nauki*. – Num. 53. – pages 7–15.
8. *Bortnikov A.E.* Some results of laboratory experiments on the destruction of water-oil emulsion under the influence of a uniform electric field / Bortnikov A.E., Kordik K.E., Savinykh A.V., Nitsin A.S. / *V nauch.-tekh. zhurnal: Geologiya, geofizika i razrabotka neftnyan' i gazovyh mestorozhdenij*. – Issue. 9. 2013, pp. 48–56.
9. *Jerzy W. Grzymala-Busse.* Definability in Mining Incomplete Data / Jerzy W. Grzymala-Busse, Teresa Mroczek // *Procedia Computer Science*, Volume 96, 2016. – pp. 179–186.
10. *Aksenov S.V.* Organizaciya i ispol'zovanie nejronnyh setej (metody i tekhnologii) [Organization and use of neural networks (methods and technologies)] / Aksenov S.V., Novoseltsev V.B. – Tomsk, 2006.
11. *Kaplan Robert.* Basic concepts of neural networks. – Moscow, 2001.
12. Neural Network Software, About NeuroSolutions. URL: <http://www.neuroproject.ru/aboutproduct.php> (accessed 02.09.2018).
13. *Simon Haykin.* Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-nd ed. Moscow.: Williams, 2006.
14. *Rutkovskaya D.* Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems] / Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkowski L. – Moscow, 2006.
15. *Stashkova O.* Use of artificial neural networks to restore the gaps in the array of raw data / Stashkova O., Shestopal O. // *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki*, No. 1, 2017. – Rostov-on-Don. – pp. 37–42.

УДК 004.896

СИСТЕМА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ*

А.Е. Колоденкова

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Аннотация. *Статья посвящена разработке системы методов и моделей контроля и предупреждения рискованных ситуаций, возникающих на этапе проектирования сложных технических систем в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных. Предлагаемая система методов и моделей основана на последовательном использовании методов, моделей, использует обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования. Новизна предложенной системы заключается в объединении моделей когнитивного моделирования, сценарного моделирования, методов мягких вычислений, что отличается от практики использования каждого из названных элементов в отдельности, в том числе от работ в области когнитивного моделирования. Приведено краткое описание разработанного программного обеспечения, которое реализует отдельные модели и методы разработанной системы, а также приведены результаты экспериментальных исследований эффективности предложенной системы методов и моделей контроля и предупреждения рискованных ситуаций.*

Ключевые слова: *сложная техническая система, система моделей и методов, когнитивное и нечеткое когнитивное моделирование, рискованные ситуации.*

Введение, постановка задачи

Проектирование сложных технических систем (СТС) является сложным, трудоемким и многоэтапным процессом, который характеризуется большими трудозатратами, рискованными ситуациями (разработка новых требований к СТС; срыв сроков разработки конструкторской, технологической, программной документации; срыв сроков поставки комплектующих; экономические потери и др.), *значительными затратами* финансовых средств и времени, необходимостью оформления большого количества разнообразных документов [1, 2].

Это приводит к резкому увеличению сроков проектирования, невозможности применения традиционных методов [1], нарушению сроков осуществления проекта по созданию СТС. Даже незначительные ошибки, допущенные на данном этапе, могут привести к ситуации, когда принятые решения по проектированию не соответствуют заявленным целям и требованиям заказчика, что, в свою очередь, приведет к необходимости срочной адаптации уже внедренной СТС.

В связи этим в настоящей статье для выявления, оперативного контроля и предупреждения рискованных ситуаций на этапе проектирования СТС предлагается система методов и моделей, основанная на экспертных знаниях, которая поз-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-08-00402.

волит быстро обрабатывать и анализировать большие объемы разнородной информации; проводить оценку текущей и прогнозируемой ситуации в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных.

Построение системы методов и моделей контроля и предупреждения рисков ситуаций

Поскольку этап проектирования СТС сопровождается широким спектром неопределенностей, многофакторностью, то для контроля и предупреждения рисков ситуаций предлагается пользоваться не единственным методом или моделью, а комплексом когнитивных, нечетких когнитивных моделей, а также методов мягких вычислений.

На рис. 1 представлена структура системы четких и нечетких когнитивных моделей (ЧКМ и НКМ), методов мягких вычислений для контроля и предупреждения рисков ситуаций в условиях неопределенных исходных данных, представленных в виде вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

Под *когнитивным моделированием* понимается инструмент, включающий методы, методики, алгоритмы, предназначенный для решения взаимосвязанных системных задач (поиск циклов когнитивной модели, поиск собственных чисел, топологический анализ, задание управляющих воздействий, установление текущих значений показателей и начальных импульсов), что позволяет анализировать рискованные ситуации, возникающие на этапе проектирования СТС, а также уточнять ЧКМ.

Под *нечетким когнитивным моделированием* понимается инструмент, включающий методы, методики, алгоритмы, предназначенный для решения взаимосвязанных системных задач (топологический анализ, взаимовлияние факторов, обучение НКМ, задание управляющих воздействий, установление текущих значений показателей и начальных импульсов, а также поглощение и разбиение графа [3]), что позволяет анализировать рискованные ситуации, возникающие на этапе проектирования СТС, а также уточнять НКМ.

Предлагаемая система предполагает определенную последовательность использования моделей и методов контроля и предотвращения рисков ситуаций, к которым предъявляются требования (учитывать в алгоритмах многофакторность процесса проектирования СТС; проводить многократное построение и корректировку ЧКМ и НКМ; описывать применяемые алгоритмы).

Для применения методов «мягких вычислений» используются исходные данные, в качестве которых выступают факторы, характеризующие рискованные ситуации, заданные в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, вербальных описаний. Результатом методов является рассчитанная интервальная оценка, характеризующая приемлемую альтернативу проекта создания СТС на этапе проектирования, которая проходит этап обработки с целью применения нечеткого когнитивного моделирования.

Алгоритм обработки неопределенных исходных данных, заключающийся в структуризации и нормировании нечетких исходных данных, описан в работе [4].

Краткое описание методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проекта по созданию СТС на этапе проектирования с использованием «мягких вычислений» и НКМ представлено ниже.

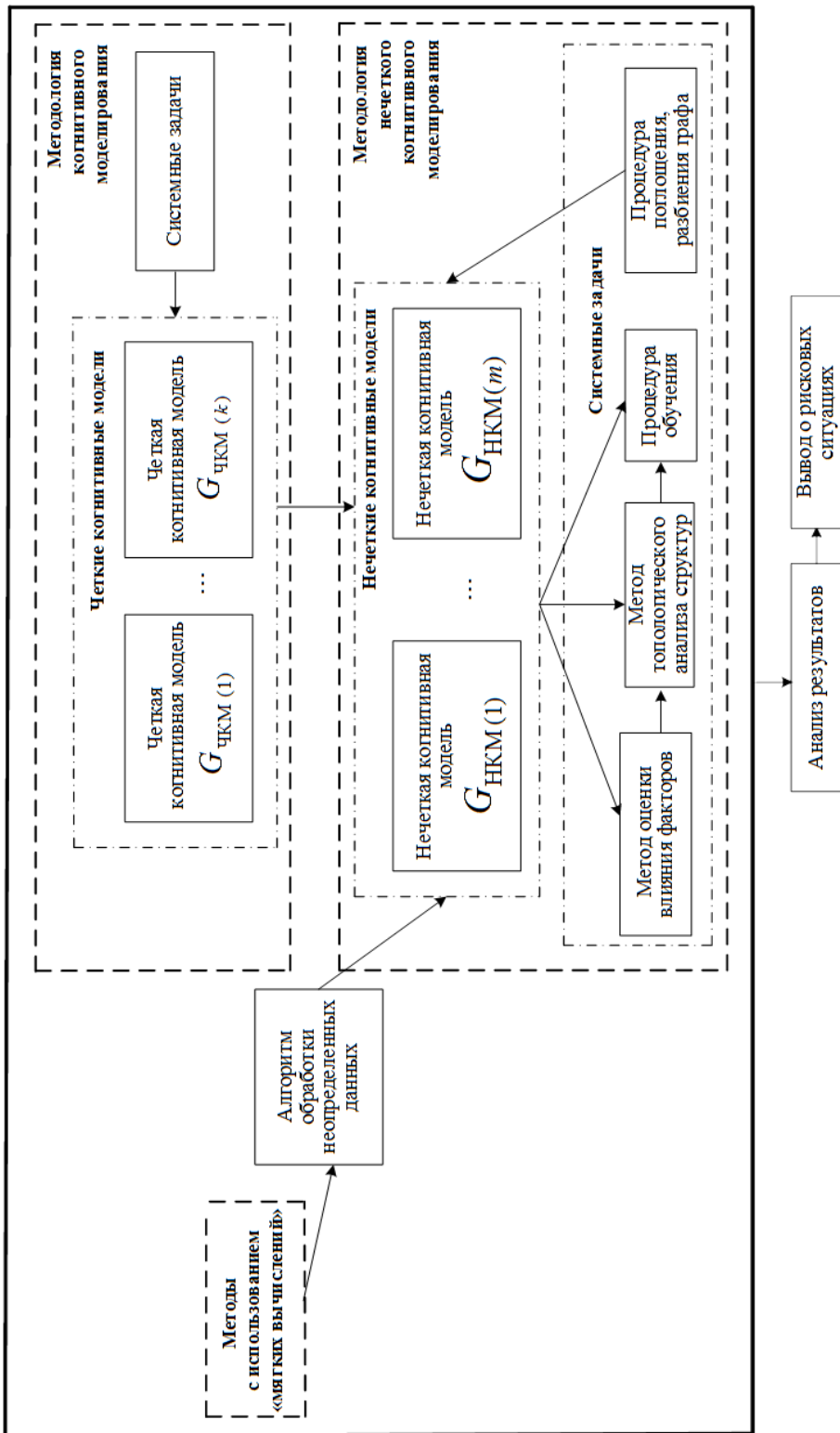


Рис. 1. Структура системы методов и моделей контроля и предупреждения рисков ситуаций

1. *Метод оценки стоимости и времени проектирования СТС с использованием генетического алгоритма.* Идея модифицированного метода заключается в анализе возможных альтернатив разработки проекта. Оценка каждой k -й альтернативы разработки проекта осуществляется на основе найденной ожидаемой стоимости $s(x^{(k)})$, $k = 1, \dots, m$, времени $t(x^{(k)})$ разработки альтернативы и формировании оценки обобщенной полезности, характеризующей осуществимость каждой k -й альтернативы: $P(x^{(k)}) = \sum_{j=1}^n w_j^{\text{нор}} p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$, $k = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, с возможностью

последующего выбора приемлемой альтернативы $x^0 = \arg \max_{x^{(k)} \in X} P(x^{(k)})$

($w_j^{\text{нор}}$ – нормированный интервальный коэффициент относительной важности j -го частного критерия альтернатив $x^{(k)} \in X$; $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$ – нормированные интервальные частные критерии альтернатив $x^{(k)} \in X$; n – частные критерии). Для сравнения нечетких чисел предлагаются методы Чью-Парка, Чанга, Кауфмана-Гупты.

2. *Нечетко-множественный метод оценки реализуемости проектов по созданию СТС на этапе проектирования в условиях нечеткости исходных данных.* Идея метода заключается в анализе построенных альтернатив разработки проекта в виде сетевых графиков выполнения проектных работ и формировании специально сформированного нечеткого показателя реализуемости $\Delta^{(k)}$ в виде критического пути, длительность которого представляется нечетким трапециевидным числом: $\Delta^{(k)} = [T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}, T_4^{(k)}]$, $k = \overline{1, m}$, с возможностью последующего выбора приемлемой альтернативы по средним значениям интервала $[T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}, T_4^{(k)}]$, где $T_1^{(k)}$, $T_4^{(k)}$ – пессимистическая и оптимистическая оценки времени выполнения k -й альтернативы, $[T_2^{(k)}, T_3^{(k)}]$ – интервал ожидаемого времени выполнения k -й альтернативы, а m – число альтернатив разработки проекта. Решение задачи расчета показателя $\Delta^{(k)}$ сводится к нахождению по имеющейся функции принадлежности объема работ и известной производительности разработчиков функции принадлежности времени работ. В основу предлагаемого подхода положен образ нечеткого множества при четком и нечетком отображении, позволяющий рассчитывать в виде трапециевидного нечеткого числа ожидаемое время выполнения работ, за которое может быть выполнен заданный объем работ. Время выполнения альтернативы и объем работ могут быть представлены в виде нечеткого треугольного числа.

3. *Метод оценки затрат времени на проектирование СТС в условиях интервальной неопределенности исходных данных с применением аппарата интервальной арифметики.* Идея метода заключается в сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта и выборе приемлемой альтернативы. Оценка каждой k -й альтернативы осуществляется на основе специально сформированного нечеткого показателя в виде общего времени $T^{(k)}$, затраченного на проектирование СТС, которое представляется нечетким треугольным числом $T^{(k)} = [t_1^{(k)}, t_2^{(k)}, t_3^{(k)}]$, $k = \overline{1, m}$ (где $t_1^{(k)}$, $t_2^{(k)}$, $t_3^{(k)}$ – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное время, за которое можно спроектировать СТС) и учитывает объемы запросов и ответов, поступающих от исполнителей. Общее время $T^{(k)}$, затраченное на проектирование СТС, может

быть представлено в виде интервала или нечеткого треугольного или трапециевидного числа.

Разработанные методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию СТС на этапе проектирования с использованием «мягких вычислений», заключающиеся в проведении сравнительного анализа возможных альтернатив оценки реализуемости проектов с учетом интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных и отличающиеся постановкой и решением задач с учетом пересечения интервалов и нечетких чисел, позволяют сэкономить бюджетные средства, сократить управленческие ошибки, принимаемые руководителем проекта на этапе проектирования, и тем самым принять взвешенное решение о дальнейшем этапе изготовления или формировании новых возможных альтернатив по созданию СТС.

4. *Метод оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию СТС на этапе проектирования с использованием НКМ*, заключающийся в применении обработки неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между ними), построении и анализе НКМ. Анализ НКМ проводится на основе системных показателей НКМ (влияние вершин друг на друга $p_{ij} = \text{sign}(z_{ij} + \bar{z}_{ij}) \max(|z_{ij}|, |\bar{z}_{ij}|)$, $z_{ij} \neq -\bar{z}_{ij}$, где z_{ij} характеризует силу положительного влияния i -го фактора на j -й, \bar{z}_{ij} – силу отрицательного влияния; влияние вершин на НКМ $\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}$ и влияние НКМ на вершины $\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}$).

5. *Метод оценки реализуемости проектов по созданию СТС на этапе проектирования с использованием процедуры обучения НКМ*, заключающийся в применении обработки неопределенных исходных данных (начальных значений факторов и связей между ними, а также ограничений) и гарантированном нахождении значений факторов в интервалах $x_{C_i \min} \leq x_{C_i} \leq x_{C_i \max}$ (C_i – факторы; x_{C_i} – идеальное значение фактора, $i = \overline{1, h}$, h – количество вершин), отражающих реализуемость проекта на этапе проектирования при ограниченных ресурсах.

6. *Метод топологического анализа структур НКМ*, заключающийся в применении этапа обработки неопределенных исходных данных (значений связей между факторами), а также в составлении рекомендаций обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ.

Разработанные методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию СТС на этапе проектирования с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, заключающиеся в применении нового алгоритма обработки неопределенных исходных данных и решении задачи оценки реализуемости проекта, которые в известных источниках [5–7] не рассматривались, позволяют предоставить рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих факторов; выявить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на всю систему и наоборот; осуществить поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проектов в условиях неопределенных исходных данных, что повышает обоснованность принятия решений на этапе проектирования.

7. *Процедура поглощения и разбиения графа (гиперграфа)*. Рассматривается нечеткий гиперграф $\dot{H} = (\dot{H}v, \dot{H}e)$, где $\dot{H}v = \{\langle i, s, \eta_{i,s} \rangle\}$ – множество вершин гиперграфа с их весами, $i = \overline{1, h}$, h – количество вершин-факторов, $s = \overline{1, n}$, n – ко-

личество вершин-подфакторов, $\eta_{i,s}$ – вес вершины; $He = \{<e, \mu_e>\}$ – множество связей графа, также с их весами, $e = \overline{1, m}$, m – количество связей подграфа, μ_e – вес связи. Механизм поглощения с возможностью восстановления гиперграфа заключается в последовательном сворачивании вершин с сохранением его свернутой части. Процесс поглощения обратим, поскольку для хранения свернутых вершин и связей используются списки. Это дает возможность сворачивать и разворачивать вершины внутри подмножеств в зависимости от требования масштабируемости модели.

Обобщенная схема методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса проектирования состоит из семи этапов и представлена на рис. 2.

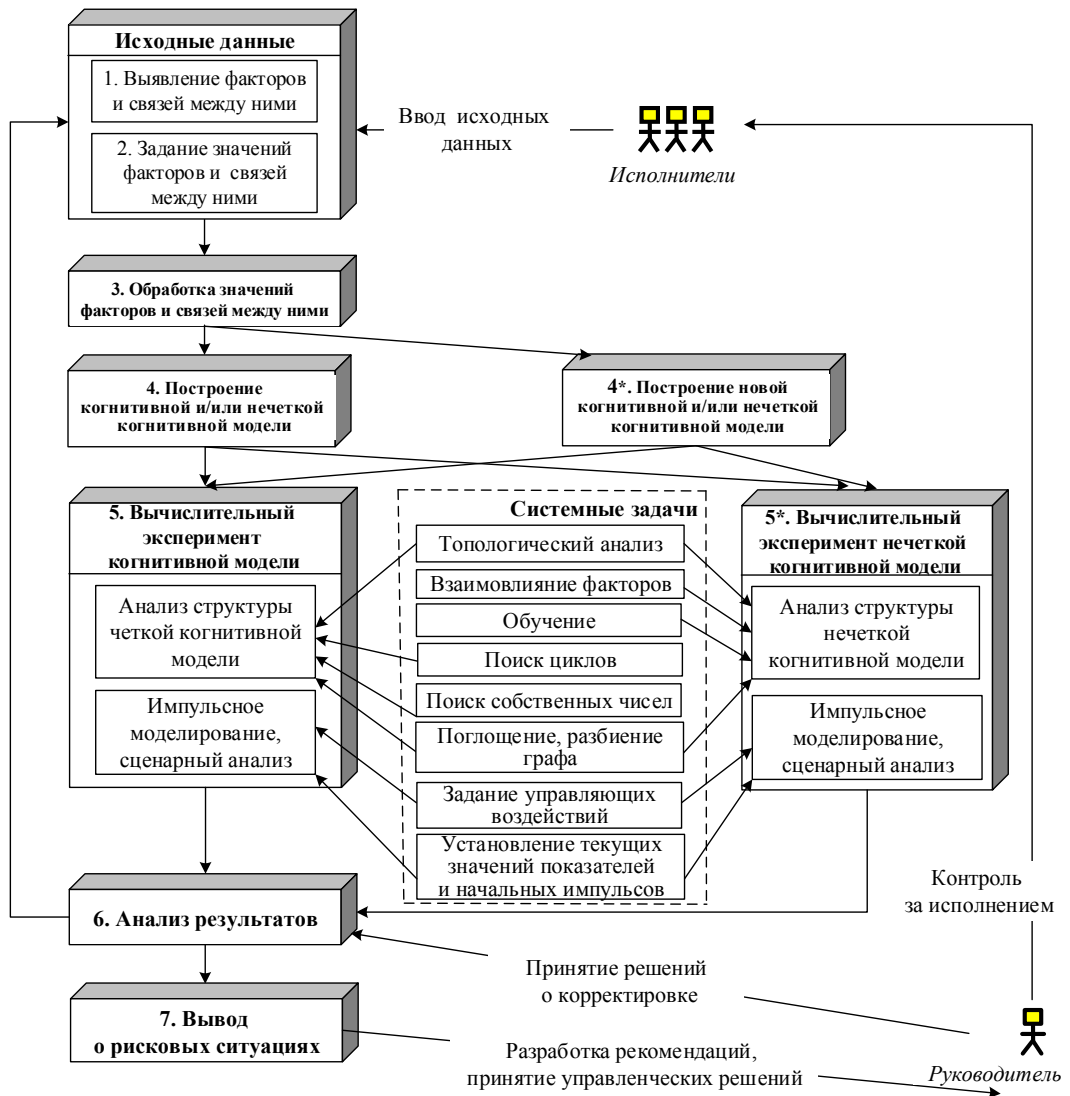


Рис. 2. Обобщенная схема методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса контроля и предупреждения рискованных ситуаций

Этап 1. Выявление факторов, необходимых для контроля и предупреждения рискованных ситуаций и связей между ними.

Этап 2. Задание значений факторов и связей между ними.

Этап 3. Обработка значений факторов и связей между ними с использованием алгоритма обработки неопределенных исходных данных.

Этап 4. Построение ЧКМ и/или НКМ [8, 9].

Под *четкой когнитивной моделью* понимается знаковый ориентированный граф

$$G = \langle V, E \rangle,$$

где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $i = 1, \dots, h$, h – количество вершин;

E – бинарное отношение на V (связи между вершинами v_i и v_j).

Элементы e_{ij} , $e_{ij} \in E$ ($i, j = 1, \dots, h$) характеризуют направление и силу влияния между вершинами v_i и v_j .

Под *нечеткой когнитивной моделью* понимается нечеткая когнитивная карта, в которой вершины представляют факторы, а ребра – нечеткие причинно-следственные связи между факторами:

$$G_{\text{неч}} = \langle V, W \rangle,$$

где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $v_i \in V$, $i = \overline{1, h}$, h – количество вершин;

$X = \{x_{v_i}\}$ – множество параметров вершин.

При этом каждой вершине ставится один параметр; W – нечеткие причинно-следственные связи между вершинами. Элементы w_{ij} , $w_{ij} \in W$ характеризуют направление и силу влияния между вершинами v_i и v_j .

Этап 5. Вычислительный эксперимент ЧКМ и/или НКМ, включающий анализ структур моделей, импульсное моделирование и сценарный анализ [7].

В случае проведения импульсного моделирования на четкой и/или нечеткой когнитивной модели, сценарного анализа могут быть построены различные сценарии прогноза развития рискованных ситуаций, возникающие на этапе проектирования СТС, с целью ослабления негативных тенденций и/или усиления позитивных тенденций.

Этап 6. Анализ результатов. Руководителю проекта после проведения исполнителями анализа результатов предлагается сделать выбор, а именно – принять решение о корректировке или некорректировке начальной ЧКМ и/или НКМ или о разработке новой ЧКМ и/или НКМ.

В ходе работы руководитель проекта может осуществлять контроль за исполнением заданий исполнителями, а также давать поручения о добавлении или удалении факторов; об установлении новых связей между факторами; об изменении значений факторов.

Этап 7. Вывод о рискованных ситуациях.

Выводом о рискованных ситуациях служат результаты анализа структур ЧКМ, НКМ:

1) топологический анализ структур ЧКМ, НКМ (рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих вершин ЧКМ, НКМ);

2) расчеты системных показателей НКМ (сила взаимовлияний между вершинами либо вершиной и НКМ; наибольшее влияние на всю НКМ);

3) нахождение наилучших значений факторов, отражающих рискованные ситуации при проектировании СТС при наличии имеющихся ресурсов.

Разработанные когнитивные модели, методы и алгоритмы для оценки реали-

зумеости проектов по созданию СТС на этапе проектирования успешно прошли апробацию на реальных примерах.

В качестве примера в таблице приведена сравнительная оценка расчетных значений, полученных с использованием системы когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, а также методики, основанной на нормах времени на разработку программных средств, принятой на предприятии, и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СТС.

Сравнительная оценка расчетных и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СТС

Наименование фактора	Значения по контракту	Фактические значения	Расчетные значения, полученные с использованием методики, принятой на предприятии	Расчетные значения, полученные с использованием комплекса когнитивных моделей и методов
Время создания СТС (день)	321	284	320	315
Стоимость создания СТС (руб.)	3 086 600	3 086 600	3 028 541	3 078 962

Таким образом, разработанная система когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений оказалась работоспособной, поскольку выдала прогнозы, совпадающие с реальным ходом событий: погрешность прогноза значения фактора «Время создания СТС» составляет 10,9 % (31 дн.), значения фактора «Стоимость создания СТС» – 0,2 % (7 638 руб.).

Результаты, полученные на основе методики, принятой на предприятии, показали, что погрешность прогноза значения фактора «Время создания СТС» составляет 12,7 % (36 дн.), значения фактора «Стоимость создания СТС» – 1,8 % (58 059 руб.).

Описание разработанного программного обеспечения контроля и предупреждения рисков ситуаций

Для сокращения времени на выявление и анализ рисков ситуаций на этапе проектирования СТС разработано программное обеспечение (ПО), реализующее отдельные методы и модели контроля и предупреждения рисков ситуаций.

Структура системы методов и моделей контроля и предупреждения рисков ситуаций включает в себя три составляющие (см. рис. 1): 1) методы с применением «мягких вычислений»; 2) методология когнитивного моделирования; 3) методология нечеткого когнитивного моделирования.

Первая составляющая включает: метод оценки реализуемости проекта с применением прецедентов, реализованный на языке программирования *Java*; нечетко-множественный и нечетко-интервальный методы оценки реализуемости проекта; метод оценки реализуемости проекта с применением методов структурного анализа и нечетко-множественного метода, реализованный в пакете *MS Excel*; метод оценки реализуемости проекта с применением генетического алгоритма.

ма, реализованный на языке C++ [11]; метод оценки затрат времени на создание СТС с применением аппарата интервальной арифметики, реализованный на языке программирования *Matlab*; метод расчета стоимости и времени проектирования СТС, реализованный на языке программирования C# [12].

Вторая составляющая включает: метод топологического анализа структуры ЧКМ, реализованный в пакете *MS Excel*; построение ЧКМ, реализованное с помощью программы *CogMap*.

Третья составляющая включает: метод оценки реализуемости проекта с применением процедуры обучения НКМ, обработку нечетких исходных данных, а также расчет системных показателей НКМ, которые реализованы на языке *Java* [13, 14]; метод оценки реализуемости проекта с применением нечеткого когнитивного моделирования, а также метод топологического анализа структуры НКМ, реализованные в пакете *MS Excel*.

Разработанное ПО позволяет сократить время, затраченное на предупреждение рискованных ситуаций, на 55 %, уменьшить количество исполнителей, участвующих при предупреждении рискованных ситуаций, в 2 раза, а также предоставляет возможность отображать на экране результаты многочисленных исследований рискованных ситуаций, проводящихся на этапе проектирования. При этом для решения подобных задач разработанное ПО требует от пользователя только системных знаний и понимания.

Заключение

Результаты, полученные с помощью разработанной системы методов и моделей оперативного контроля и предупреждения рискованных ситуаций, возникающих на этапе проектирования СТС в условиях неопределенности различных типов, позволяют: 1) сократить время на выявление и анализ рискованных ситуаций; 2) расширить набор возможных сценариев развития рискованных ситуаций при проектировании СТС; 3) минимизировать возможность возникновения рискованных ситуаций; 4) выработать научно обоснованные управленческие решения, направленные на прогнозирование и предотвращение ситуаций, приводящих к критическому несоответствию СТС.

Результаты экспериментальных исследований эффективности системы методов и моделей контроля и предупреждения рискованных ситуаций на этапе проектирования СТС состоят в том, что предложенная система по сравнению с другими методиками аналогичного назначения показала в 1,3–2,7 раза более точный результат по факторам, необходимым для контроля и предупреждения рискованных ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Юрков Н.К.* Системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем // Надежность и качество сложных систем: Научно-практический журнал. – 2013. – № 1. – С. 27–35.
2. *Федосов Е.А.* Автоматизация проектирования сложных технических систем // Вестник АН СССР. – 1986. – № 10. – С. 40–49.
3. *Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р., Целых А.А., Самойлов А.Н.* Обобщение графов ситуаций на основе спискового алгоритма свертки для задач ситуационного управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 3. – С. 111–121.
4. *Колоденкова А.Е.* Моделирование процесса реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением нечетких когнитивных моделей // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 6 (144). – С. 10–17.
5. *Ильясов Б.Г., Васильев В.И.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. – М.:

- Радиотехника, 2009. – 392 с.
6. Черняховская Л.Р., Герасимова И.Б., Салаватова А.Р., Мухамедрахимова Л.Н. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт // Вестник УГАТУ. – 2014. – № 4 (65). – Т. 18. – С. 134–141.
 7. Papageorgiou E.I., Stylios C.D., Groumpos P.P. Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps Internet // International Journal of Approximate Reasoning. – 2004. – Vol. 37. – P. 219–249.
 8. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. – М.: Наука, 1986. – 496 с.
 9. Dickerson J., Kosko B. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps // Virtual reality annual international symposium, 1993. – P. 471–477.
 10. Горелова Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 239–250.
 11. Колоденкова А.Е. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2013612228. Оценка реалистичности инновационного программного проекта с использованием генетического алгоритма. Заяв. 18.02.2013. – М.: Роспатент, 2013.
 12. Колоденкова А.Е., Халикова Е.А. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2018611151. Оценка стоимости и времени проектирования информационно-управляющих систем с применением генетического алгоритма. Заяв. 24.01.2018. – М.: Роспатент, 2018.
 13. Смирнова Е.Е., Надеждин Е.Н. Когнитивный анализ механизма формирования экономической компетентности выпускника университета // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24174> (дата обращения: 27.06.2018).
 14. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
 15. Колоденкова А.Е., Халикова Е.А. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2016619666. Анализ структуры нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных. Заяв. 25.08.2016. – М.: Роспатент, 2016.
 16. Колоденкова А.Е., Халикова Е.А. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2016616584. Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных. Заяв. 15.06.2016. – М.: Роспатент, 2016.

Статья поступила в редакцию 13 мая 2018 г.

THE DEVELOPMENT OF METHODS AND MODELS FOR THE CONTROL AND PREVENTION OF RISK SITUATIONS AT THE DESIGN STAGE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

A.E. Kolodenkova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *The paper is devoted to development of the system of methods and models of control and prevention of the risk situations arising at a design stage of difficult technical systems in the conditions of interval uncertainty and fuzzy basic data. The offered system of methods and models is based on certain consecutive use of methods, and models, using the generalized scheme of methodology of cognitive and fuzzy cognitive modeling. The novelty of this system consists in association of cognitive modeling, scenario modeling and also methods of soft computing that differs from the case of using of each of the called elements separately, and from works in the field of cognitive modeling. Fragments of screen forms of the software which realizes separate models and methods of the developed system are given. The results of experimental studies dealing with efficiency of the offered system are presented.*

Anna E. Kolodenkova (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Keywords: complex technical system, system of models and methods, cognitive and fuzzy cognitive modeling, risk situations.

REFERENCES

1. *Yurkov N.K.* A systematic approach to the organization of the life cycle of complex technical systems // Reliability and quality of complex systems: Journal of Research and Practice, 2013. – No. 1, pp. 27–35.
2. *Fedosov E.A.* Automation of design of difficult technical systems // Vestnik of the USSR Academy of Sciences. – 1986. – No. 10. – pp. 40–49.
3. *Sergeev N.E., Muntyan E.R., Tselykh A.A., Samoylov A.N.* Situation graph generalization for situation awareness using a list-based folding algorithm // News of SFU. Technical science. – 2017. – No. 3. – pp. 111–121.
4. *Kolodenkova A.E.* The process modeling of project feasibility for information management systems using the fuzzy cognitive models // Journal of computer and information technologies. – 2016. – No. 6 (144). – pp. 10–17.
5. *Iljasov B.G., Vasilev V.I.* Intelligent control systems. Theory and practice. – Moscow: Radiotechnics, 2009. 392 p.
6. *Chernjahovskaja L.R., Gerasimova I.B., Salavatova A.R., Muhamedrahimova L.N.* Assessment of social and psychological factors on quality of student training using fuzzy cognitive maps // Vestnik UGATU. – 2014. – No. 4 (65). – Vol. 18. – C. 134–141.
7. *Papageorgiou E.I., Stylios C.D., Groumpos P.P.* Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps Internet // International Journal of Approximate Reasoning. – 2004. – Vol. 37. – P. 219–249.
8. *Roberts F.S.* Discrete mathematical models applied to social, biological and ecological problems. Moscow: Nauka, 1986, 496 p.
9. *Dickerson J., Kosko B.* Virtual worlds as fuzzy cognitive maps // Virtual reality annual international symposium, 1993. – pp. 471–477.
10. *Gorelova G.V.* A cognitive approach for modeling of complex systems // News of SFU. Technical science. – 2013. – No. 3. – pp. 239–250.
11. *Kolodenkova A.E.* Evaluation of the feasibility of innovative program project using a genetic algorithm, Certificate on Certificate on official registration registration of the computer program no. 2013612228, registered 18.02.2013.
12. *Kolodenkova A.E., Khalikova E.A.* Estimation of cost and time of designing information-control systems using genetic algorithm, Certificate on Certificate on official registration registration of the computer program no. 2018611151, registered 24.01.2018.
13. *Smirnova E.E., Nadezhdin E.N.* Cognitive analysis mechanism of formation of economic competence of a university graduate // Modern problems of science and education. – 2016. – No. 2. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24174> (27.06.2018).
14. *Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S.* Fuzzy models and networks. – Moscow: Telecom, 2012, 284 p.
15. *Kolodenkova A.E., Khalikova E.A.* The analysis of structure of fuzzy cognitive model in the conditions of fuzzy initial data, Certificate on official registration of the computer program no. 2016619666, registered 25.08.2016.
16. *Kolodenkova A.E., Khalikova E.A.* Evaluation of the project feasibility of creation of information-control systems using the procedure of training fuzzy cognitive model in the conditions of fuzzy initial data, Certificate on Certificate on official registration registration of the computer program no. 2016616584, registered 15.06.2016.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРОВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ¹

В.Н. Митрошин, С.А. Колпациков

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

***Аннотация.** Рассмотрена процедура выбора показателей качества технологической операции наложения полимерной изоляции при изготовлении проводных кабелей связи. Показано, что показатели качества зависят от вида выпускаемой продукции, типа накладываемой полимерной изоляции, рабочей полосы частот сигнала, передаваемого по кабелю. Предложены пути обеспечения гарантированного поддержания эксплуатационных характеристик изготавливаемого кабеля в течение срока его эксплуатации. Сформулированы задачи, решаемые при автоматизации технологических процессов наложения различных видов полимерной изоляции: сплошной, химически вспененной и физически вспененной.*

***Ключевые слова:** кабели связи, полимерная изоляция, экструзионные линии, автоматизация.*

Наряду с волоконно-оптическими линиями связи (ВОЛС) в структурированных кабельных системах (СКС) в качестве передающих сред широко используются проводные кабели связи (КС). Во-первых, это LAN-кабели на основе витых пар. К ним относятся кабели без экранирующего покрытия – UTP (Unshielded Twisted Pair), кабели с общим внешним экраном – STP (Shielded Twisted Pair), а также кабели SSTP (Screened Shielded Twisted Pair), отличающиеся от последних наличием двух защитных экранов: как экранирующих каждую витую пару, так и являющихся общим внешним экраном [1]. Во-вторых, радиочастотные коаксиальные кабели (КК) с соосным расположением внутреннего проводника, изоляции и внешнего проводника-экрана [2]. В третьих, используемые значительно реже симметричные кабели на основе, например, звездной четверки скрученных изолированных жил [3].

Технологический процесс изготовления проводных КС является сложным, непрерывным, многооперационным процессом, в котором качество изготавливаемого кабеля как линии связи определяется неким обобщенным эксплуатационным показателем качества [4]. Показатель качества выпускаемой продукции формируется на всех стадиях производства и может быть измерен лишь на готовом изделии.

Этот факт вызывает необходимость выбора неких показателей качества на каждой промежуточной операции изготовления кабеля, регулирование (или стабилизация) которых гарантирует в конечном итоге получение готовой продукции

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 18-08-00506-а).

Владимир Николаевич Митрошин (д.т.н.), зав. кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».

Сергей Александрович Колпациков (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

с требуемыми эксплуатационными свойствами. Как будет показано ниже, решение этой задачи зависит от вида выпускаемой продукции (LAN-кабеля, КК, симметричного кабеля), типа накладываемой полимерной изоляции (сплошной, пенопластовой с химическим вспениванием, пенопластовой с физическим вспениванием), рабочей полосы частот сигнала, передаваемого по изготавливаемому кабелю. Отдельной задачей является гарантированное обеспечение поддержания эксплуатационных показателей выпускаемого изделия в требуемом рабочем диапазоне в течение всего срока его эксплуатации.

Процессы производства различных видов проводных КС имеют как одинаковые технологические операции (изоляция медного проводника полимерным материалом, волочение медного провода, наложение внешней защитной полимерной оболочки кабеля, изготовление экранов), так и свойственные только конкретным видам кабеля. Так, операции скрутки (парной, четверочной и групповой) используются при изготовлении только симметричных и LAN-кабелей. А изготовление экранов, например, даже для кабелей одного вида может существенно отличаться. Экраны могут изготавливаться из гладкой или гофрированной медной фольги, путем повива из медной проволоки и т. д.

Поэтому формирование в процессе производства проводных кабелей их эксплуатационных показателей качества во многом различно и имеет индивидуальные особенности даже для кабелей одного вида, отличающихся различным конструктивным исполнением.

Отмечается [5], что для всех проводных КС важнейшей, в наибольшей степени определяющей качество изготавливаемого изделия, является операция изолирования токопроводящей жилы полимером, осуществляемая методом экструзии на шнековых прессах [6]. Чаще всего в качестве изоляции при изготовлении кабелей используется полиэтилен высокого давления низкой плотности (ПЭНП) – термопластичный материал, обладающий аномалией вязкости [7].

При изготовлении радиочастотных коаксиальных кабелей RG (Radio Guide) и LAN-кабелей, предназначенных для передачи огромного объема информации на сверхвысоких частотах, «единственной возможностью для удовлетворения новым требованиям является применение материалов с прекрасными диэлектрическими свойствами и высокой степенью вспенивания» [8]. В качестве таких изоляционных материалов, отвечающих высоким требованиям стабильности электрических характеристик, в настоящее время применяются фторполимеры (PFA, FEP и т. п.). PFA – перфторированный сополимер (перфторалкокси-сополимер), или фторопласт-50. FEP – это сополимер тетрафторэтилена и гексафторпропилена, или фторопласт 4МБ (Ф-46).

Первичные параметры изолированной кабельной жилы (диаметр изоляции, относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, погонная емкость изолированной жилы кабеля), формируемые на экструзионной линии при наложении изоляции, в конечном счете в основном и определяют обобщенный эксплуатационный показатель качества изготавливаемой продукции. В роли этих показателей чаще всего выступают параметры передачи либо параметры влияния кабеля в диапазоне его рабочих частот.

Для коаксиальных кабелей основными показателями качества являются параметры передачи. К обобщенным эксплуатационным показателям качества КК относят такие показатели, которые характеризуют его потребительские свойства как линии связи.

Применимость коаксиального кабеля в том или ином частотном диапазоне

определяется величиной помех в виде так называемых обратного и попутного потоков. Ввиду сложности измерения непосредственно величин обратного и попутного потоков качество кабеля принято нормировать по величине входного коэффициента отражения $\Gamma_{\text{вх}}$ [9]:

$$\Gamma_{\text{вх}} = \frac{1}{2Z_0} \int_0^l Z'(x) \exp(-2\gamma x) dx, \quad (1)$$

здесь Z_0 – номинальное значение волнового сопротивления кабеля;

$\gamma = \alpha + j\beta$ – коэффициент распространения электромагнитной волны;

β – коэффициент фазы;

α – коэффициент затухания;

l – длина кабеля.

$$\beta = \frac{2\pi f}{v}, \quad (2)$$

$$\alpha = a_0 \sqrt{f}, \quad (3)$$

где v – скорость распространения электромагнитной волны по кабелю;

f – частота электрического сигнала;

a_0 – числовой коэффициент, определяемый типом кабеля.

В качестве обобщенного эксплуатационного показателя качества чаще всего принимают легко контролируемый на готовом кабеле показатель – регулярность (однородность) его волнового сопротивления [2, 4, 10], который имеет определяющее влияние на качество коаксиального кабеля (1), а также приращение затухания кабеля $\Delta\alpha l$ на частоте передаваемого сигнала, возникающее за счет переотражений волн на случайных нерегулярностях кабеля. Здесь l – длина кабеля.

Для коаксиального кабеля со сплошной изоляцией и внешним экраном в виде жесткой трубки со сварным швом выражение для волнового сопротивления кабеля будет иметь вид [11]

$$Z = 60 \sqrt{\ln \frac{D}{D_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\epsilon_n} \cdot \ln \frac{D_{\text{из}}}{d} \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (4)$$

где ϵ_n – относительная диэлектрическая проницаемость полиэтилена;

$D_{\text{из}}$ – диаметр изолированной жилы;

d – диаметр медного проводника;

D – внутренний диаметр экрана.

Если у КК экран выполнен в виде тонкой металлической ленты, вплотную прилегающей к изоляции, либо в виде оплетки из медных проволок, то $D = D_{\text{из}}$ и формула (4) преобразуется к виду

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_n}} \ln \frac{D_{\text{из}}}{d}. \quad (5)$$

Так как на экструзионных линиях окончательная вытяжка медной проволоки осуществляется прецизионным способом – через алмазные фильеры, то диаметр медного проводника фактически является постоянной величиной $d = \text{const}$. От-

носительную диэлектрическую проницаемость сплошного полиэтилена также можно считать постоянной.

В этом случае при изготовлении КК с экраном в виде оплетки из медных проволок и изоляцией медного проводника сплошным полимером нерегулярность волнового сопротивления кабеля определяется практически только нерегулярностью диаметра изоляции (5).

Объемная производительность шнекового экструдера $Q(t)$ может быть легко экспериментально определена по контролируемым величинам: диаметру изолированной жилы $D_{из}(t)$ и скорости изолирования $V(t)$:

$$Q(t) = \left[\frac{\pi D_{из}^2(t)}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] \cdot V(t). \quad (6)$$

Отсюда

$$D_{из}(t) = d \sqrt{1 + k \frac{Q(t)}{V(t)}}. \quad (7)$$

Здесь $k = 4/\pi d^2$, $[m^{-2}]$ – постоянный коэффициент.

Следовательно, основной задачей автоматического управления процессом изготовления КК со сплошной полимерной изоляцией медной жилы является стабилизация объемной производительности шнекового экструдера и скорости изолирования, что обеспечит стабилизацию диаметра изолированной жилы, а в конечном итоге и эксплуатационный показатель качества – волновое сопротивление кабеля.

Для гарантированного обеспечения необходимого эксплуатационного показателя качества выпускаемого кабеля в качестве линии связи во всем рабочем частотном диапазоне рекомендуется выбирать для оценки эффективности управляемого технологического процесса изготовления проводных кабелей связи обобщенный стохастический показатель – спектральную плотность $S_z(g)$ формируемого волнового сопротивления кабеля.

Это объясняется тем, что основные эксплуатационные показатели качества КК – модуль входного коэффициента отражения и приращение затухания кабеля на частоте передаваемого сигнала f – выражаются через величину спектральной плотности волнового сопротивления кабеля на соответствующей пространственной частоте g_0 нерегулярностей изготавливаемого кабеля.

Дисперсия модуля входного коэффициента отражения σ_Γ^2 определяется величиной спектральной плотности функции волнового сопротивления кабеля Z на соответствующей пространственной частоте g_0 [12]:

$$\sigma_\Gamma^2 = \frac{(4 - \pi)\pi^2}{16Z_0^2} \cdot \frac{g_0^2}{\alpha(f)} \cdot S_z(g_0). \quad (8)$$

Связь пространственной частоты нерегулярности волнового сопротивления кабеля g_0 и частоты передаваемого по нему сигнала f определяется выражением

$$g_0 = \frac{2f}{v}, \quad (9)$$

где Z_0 – номинальное значение волнового сопротивления кабеля;

v – скорость распространения сигнала по кабелю.

Математическое ожидание модуля входного коэффициента отражения определяется величиной спектральной плотности волнового сопротивления на пространственной частоте g_0 [13]:

$$m_{\Gamma} = \sqrt{\pi/(4 - \pi)} \sigma_{\Gamma}. \quad (10)$$

Приращение затухания кабеля $\Delta\alpha l$ на частоте передаваемого сигнала также выражается через величину спектральной плотности волнового сопротивления кабеля на соответствующей пространственной частоте g_0 [14]:

$$\Delta\alpha l = K_0(f) \cdot \frac{1 - e^{-4\alpha l}}{\alpha} \cdot f^2 S_Z(g_0), \quad (11)$$

где K_0 – частотно-зависимый коэффициент, определяемый конкретными особенностями кабеля;

$S_Z(g_0)$ – величина двухсторонней спектральной плотности волнового сопротивления на пространственной частоте нерегулярности кабеля g_0 , связанной с частотой f передаваемого по кабелю сигнала выражением (9);

l – длина кабеля;

f – частота передаваемого сигнала.

Для улучшения электрических характеристик проводных кабелей, как коаксиальных, так и LAN-кабелей, рассчитанных на передачу высокочастотных сигналов, на медную жилу накладывается пенопластовая (пористая) полимерная изоляция. Существуют два вида пористой изоляции. Первая накладывается на шнековых прессах экструзионных линий методом химического вспенивания [15, 16], а вторая – методом физического вспенивания [8].

Применение в проводных кабелях изоляции со степенью пористости (отношением объема газовых включений к общему объему изоляции) $\delta = 0,5$, с одной стороны, дает значительную экономию полимерного изоляционного материала (до 50 %) и существенное улучшение диэлектрических характеристик изоляции. С другой стороны, становится особенно актуальной задача управления процессом наложения пенопластовой изоляции с целью поддержания высокой степени однородности электрических свойств пористой изоляции [17].

Для случая наложения химически вспененной изоляции формула (5) преобразуется к виду

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{пп}}}} \ln \frac{D_{\text{из}}}{d}, \quad (12)$$

где $\epsilon_{\text{пп}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость пенопластовой изоляции.

Из (12) видно, что к факторам, влияющим на эксплуатационные характеристики коаксиального кабеля с пористой изоляцией, добавляется еще один параметр – однородность пористой изоляции (ее относительная диэлектрическая проницаемость). Относительная диэлектрическая проницаемость пенопластовой изоляции влияет на показатели затухания и отражения в кабеле. На рис. 1 представлена схема многосвязного многомерного звена – экструдера для наложения химически вспененной изоляции на медную жилу кабеля как объекта автоматического управления.

Как видно из рис. 1, наложение вспененной изоляции на экструзионных линиях является многосвязным многомерным процессом. В этом его принципиальное отличие от процесса наложения сплошной полимерной изоляции.

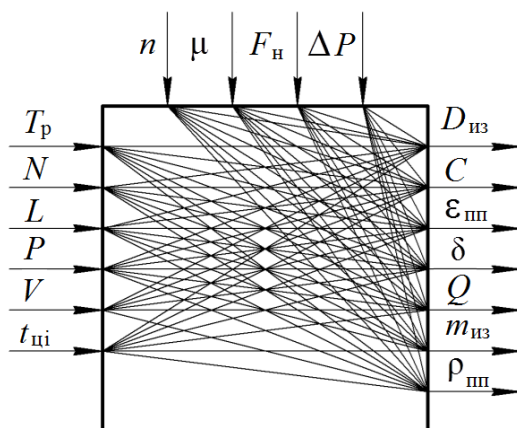


Рис. 1. Схема многосвязного многомерного объекта – экструдера для наложения химически вспененной изоляции

Входными переменными процесса изолирования медного проводника термопластическим полимером, накладываемым методом химического вспенивания, являются:

- T_p – температура расплава полимера в зоне дозирования экструдера;
- N – скорость вращения шнека экструдера;
- L – расстояние от кабельной головки до первой ванны охлаждения;
- P – давление расплава полимера на выходе зоны дозирования экструдера;
- ΔP – перепад давлений расплава полимера на выходе зоны дозирования и в формирующем инструменте экструдера (кабельной головке);
- V – скорость протягивания изолированной жилы (скорость изолирования);
- F_n – натяжение изолируемой жилы;
- $t_{ци}$ – температура зон нагрева цилиндра экструдера ($i = 1 \div 5$).

Некоторые входные переменные должны быть выбраны в качестве управляющих воздействий. Остальные необходимо рассматривать в качестве контролируемых возмущений. К возмущениям, которые невозможно стабилизировать в процессе наложения изоляции, обычно относят:

- n – индекс течения полимера;
- μ – вязкость расплава перерабатываемого полимера.

Непосредственно измеряемыми показателями качества процесса наложения химически вспененной изоляции являются:

- $D_{из}$ – диаметр изолированной жилы;
- C – погонная емкость изолированной жилы.

Ряд выходных переменных процесса наложения химически вспененной изоляции могут быть лишь косвенно оценены по непосредственно измеряемым показателям процесса изолирования. К косвенно оцениваемым показателям относятся:

$\varepsilon_{\text{пп}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость пенопластовой изоляции;

δ – степень пористости (вспенивания) пенопластовой изоляции;

Q – объемная производительность шнекового экструдера;

$m_{\text{из}}$ – масса изоляции на единицу длины проводника;

$\rho_{\text{пп}}$ – плотность пенопластовой изоляции.

Процесс наложения химически вспененной изоляции технологически мало отличается от процесса наложения сплошного полимера. Различием является использование порофора – порошка, засыпаемого в экструдер вместе с гранулами полиэтилена. Под действием температуры порофор разлагается с выделением газа, растворенного в расплаве полимера. Степень разложения порофора нелинейно увеличивается от температуры. После выхода изолированной жилы из кабельной головки растворенный в полимере газ расширяется с образованием внутри изоляции газовых пузырьков. Достоинством технологического процесса химического вспенивания изоляции является его простота, а главным недостатком – плохая стабильность процесса, невысокая степень пористости изоляции (до 50 %), значительный размер пор, неравномерность газовых включений по сечению изоляции.

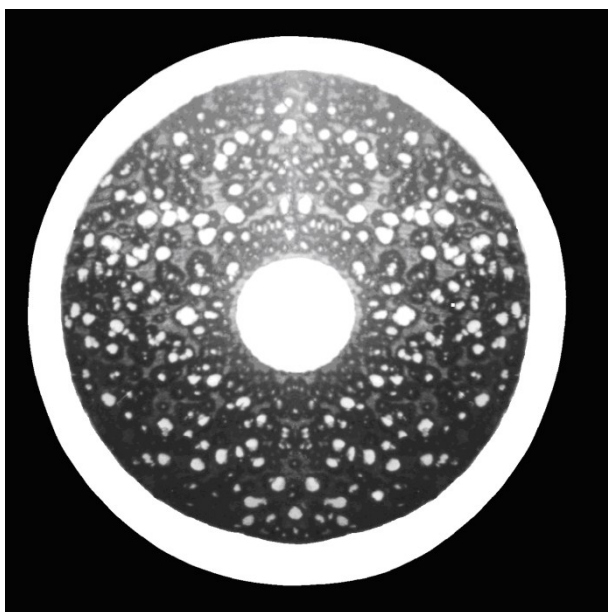


Рис. 2. Срез изолированной пенополиэтиленом методом химического вспенивания жилы коаксиального кабеля зонной связи ВКПАП с диаметром по жиле 2,14 мм, диаметром по изоляции 9,7 мм и средним размером пор 257 мкм

На рис. 2 показан срез наложенной методом химического вспенивания пенопластовой изоляции жилы коаксиального кабеля зонной связи ВКПАП. Наложение изоляции осуществлялось на экструзионной линии ME-90 фирмы Maillefer. Средний размер пор достаточно велик – 257 мкм, поры распределены по сечению изоляции с невысокой степенью равномерности. Это приводит к существенной нерегулярности относительной диэлектрической проницаемости наложенной вспененной изоляции. Как показали проведенные эксперименты,

нерегулярность относительной диэлектрической проницаемости пенопластовой изоляции составила $\pm 0,025$, или 1,63 %. Измерения осуществлялись с помощью оригинального измерителя относительной диэлектрической проницаемости пенопластовой изоляции, разработанного в СамГТУ [18].

Главным недостатком управления процессом наложения химически вспененной изоляции является сложность синтеза системы управления. Использование для управления многосвязным многомерным процессом наложения химически вспененной изоляции многоконтурных систем управления с развязывающими звеньями [15, 19, 20] не обеспечивает решения задачи эффективного управления автоматизируемым процессом в условиях реального производства.

Выход заключается в использовании интеллектуальных (нейросетевых) систем управления данным многосвязным многомерным техпроцессом. С точки зрения гарантированного обеспечения необходимого эксплуатационного показателя качества изготавливаемых проводных кабелей связи (например, требуемой спектральной плотности волнового сопротивления КК) предлагается использовать также системы усовершенствованного управления (АРС-системы) на основе применения прогнозирующих моделей формирования показателя качества кабеля как линии связи [21].

В настоящее время для наложения пенопластовой изоляции проводных кабелей связи, как правило, используется технология физического вспенивания расплава полимера в экструдере азотом, отличающаяся существенно лучшей управляемостью и стабильностью по сравнению с технологией химического вспенивания.

При физическом вспенивании на медный проводник обычно последовательно накладываются три слоя изоляции: сначала тонкий слой сплошного полимера, затем слой физически вспененного термопластичного полимера, а сверху – еще один слой сплошного полимера. Такая изоляция называется skin-foam-skin и используется в проводных кабелях с верхней граничной частотой свыше 100 МГц [1]. Применение skin-foam-skin изоляции позволяет значительно снизить коэффициент затухания кабеля. У кабелей с химически вспененной изоляцией затухание выше более чем на 20 %, а у кабелей со сплошной изоляцией – еще выше.

В настоящее время системы связи согласно действующим стандартам могут работать с проводными кабелями со сплошной изоляцией. Но в будущем «единственным способом достичь необходимых электрических характеристик кабелей при меньших размерах будет вспенивание изоляции» до степени ее пористости порядка 70 % для полиэтилена и фторопластов и максимального размера пор менее 20 мкм. При использовании экструзионной группы, оборудованной системой непрерывного впрыска азота под высоким давлением, удалось получить степень вспенивания изоляции из полиэтилена до 82 %, а из фторопластов – до 70 % [8].

Ведущим производителем экструдеров для изолирования кабельной продукции методом физического вспенивания является компания Mailliefer SA (Швейцария). Она производит широкий диапазон специализированных и многофункциональных экструзионных линий для изолирования как различных типов коаксиальных кабелей, включая микрокоаксиальные кабели, радиочастотные коаксиальные кабели RG (Radio Guide), кабели для систем кабельного телевидения – CATV и крупные радиочастотные кабели, так и жил LAN-кабелей.

Для производства крупногабаритных коаксиальных кабелей с изоляцией из физически вспененного полиэтилена компания Mailliefer использует метод наложения всех трех слоев пленко-пористо-пленочной изоляции через одну много-

слойную головку, что делает экструзионную группу более компактной. Для этих целей разработаны экструдеры NMB 80-30D, NMC 100-36D и NMC 120-36D.

При построении структурированных кабельных систем (СКС) для передачи данных в настоящее время наиболее широко используются LAN-кабели категорий 5е, 6 и 7 (рис. 3). Основным конструктивным элементом таких кабелей является витая пара, состоящая из двух скрученных изолированных кабельных жил.

Для LAN-кабелей основными показателями качества наряду с параметрами передачи являются параметры влияния, например переходные затухания между соседними витыми парами. У SSTP LAN-кабелей (категории 7), отличающихся наличием двух типов защитных экранов (экранирующие каждую витую пару и общий внешний экран) параметры влияния не имеют существенного значения.

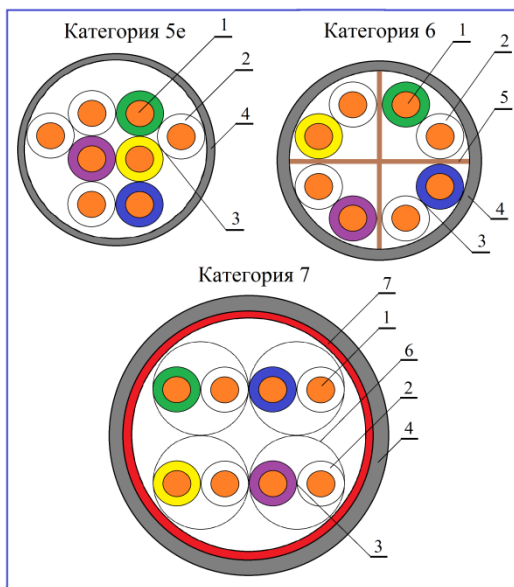


Рис. 3. Конструкция LAN-кабелей различных категорий:

- 1 – токопроводящая жила; 2 – пенопластовая изоляция; 3 – витая пара; 4 – полимерная оболочка; 5 – крестообразный профиль; 6 – экран витых пар из алюмо-полиэтилена;
- 7 – внешний общий экран (оплетка из медной проволоки)

Для LAN-кабелей категории 7 (с экранированной витой парой) показателями качества являются параметры передачи: величина волнового сопротивления Z_B в данном сечении кабеля и величина собственного затухания $\alpha(f)$ кабеля на частоте f [22].

$$Z_B = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_{\text{экр}}}} \cdot \ln \frac{D_{\text{из1}} + D_{\text{из2}} - d}{d} \cdot \frac{4d^2 - (D_{\text{из1}} + D_{\text{из2}})^2}{4d^2 + (D_{\text{из1}} + D_{\text{из2}})^2}. \quad (13)$$

$$\alpha(f) = \frac{2,6\sqrt{f\epsilon_{\text{экр}}} \cdot 10^{-3}}{\lg[(D_{\text{из1}} + D_{\text{из2}} - d)/d]} \cdot \left[\frac{1}{d} + \frac{2d}{(D_{\text{из1}} + D_{\text{из2}})^2} \right] + 9,08f\sqrt{\epsilon_{\text{экр}}} \text{tg}\delta \cdot 10^{-5}. \quad (14)$$

Здесь $d = \text{const}$ – диаметр медных проводников; $D_{\text{из1}}, D_{\text{из2}}$ – диаметры изолированных жил; $\epsilon_{\text{экв}}$ – эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость скрученной пары; d_s – диаметр экрана; $\text{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь изоляции.

Формируемые на операции наложения физически вспененной изоляции и непосредственно измеряемые параметры – диаметр $D_{\text{из}}$ и погонная емкость C изолированной жилы – являются взаимосвязанными величинами [2]:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln \frac{D_{\text{из}}}{d}}, \quad (15)$$

где ϵ_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума;

ϵ_r – эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость комбинированной (skin-foam-skin) изоляции.

Для регулирования процесса наложения физически вспененной изоляции предлагается использовать программируемый логический контроллер [8]. При этом регулирование диаметра изоляции осуществляется за счет изменения линейной скорости линии, а регулирование емкости – за счет изменения давления вакуумного насоса, меняющего количество подаваемого азота, и за счет перемещения мобильной части первой ванны охлаждения.

Одной из важнейших задач при изолировании проводных кабелей является выбор режима охлаждения наложенной изоляции. Охлаждение наложенной методом экструзии расплавленной пластмассовой изоляции происходит в процессе непрерывного движения кабельной жилы через водяные ванны охлаждения с заданной постоянной скоростью. На существующих экструзионных линиях длина ванн охлаждения составляет порядка 15 м и более. Выбор режима охлаждения во многом определяет последующие эксплуатационные свойства изготавливаемого кабеля. Термические процессы в экструдированной изоляции влияют на молекулярную структуру, механическое напряженное состояние полимера [23, 24], адгезию изоляции и металлического проводника, образование пустот в изоляции [25, 26] и качество ее граничной поверхности. Необходимо обеспечить стабильность электрических характеристик кабеля при старении изоляции. Несоблюдение оптимальных температурных режимов охлаждения кабельной изоляции может вызвать ее ускоренное старение, что приводит к выходу кабеля из строя, например при растрескивании изоляции. Необходимо знание не только конечной температуры полимерной изоляции по окончании охлаждения, но и распределение температурного поля вдоль всего охлаждаемого участка.

При этом проблема оптимизации режима охлаждения изоляции сводится к выбору управления по граничным условиям за счет изменения температуры воды в ваннах охлаждения, обеспечивающего в условиях заданных ограничений получение требуемого распределения температуры изоляции на выходе из участка охлаждения с заданной точностью при экстремальном значении выбранного критерия качества.

Данная проблема рассматривалась в классе задач управления с распределенными параметрами. Оптимальное охлаждение наложенной изоляции, с одной стороны, гарантированно обеспечило охлаждение полимерной изоляции без воз-

никновения в ней внутренних напряжений, а с другой – позволило значительно снизить затраты энергоресурсов на подогрев воды [27].

В заключение можно констатировать, что постановка задачи автоматического управления наложением полимерной изоляции при изготовлении проводных кабелей связи принципиально отличается в зависимости от вида выпускаемой продукции, типа накладываемой изоляции и рабочей полосы частот изготавливаемого кабеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.П. Структурированные кабельные системы. – М.: Компания АйТи, ДМК Пресс, 2002. – 640 с.
2. Белоруссов Н.П., Гроднев И.И. Радиочастотные кабели. – М.: Энергия, 1973. – 328 с.
3. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.
4. Ефимов И.Е., Останкович Г.А. Радиочастотные линии передачи. Радиочастотные кабели. – М.: Связь, 1977. – 408 с.
5. Митрошин В.Н. Регулирование давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера при пульсирующем градиенте давления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – Вып. 1 (29). – С. 39–44.
6. Раувендаль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.
7. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
8. Бонвин П.-И., Родригез Р., Чамов А.В. Линии изолирования коаксиальных кабелей с процессом физического вспенивания ExtrucellTM // Кабель-news. – 2010. – № 2. – С. 13–18.
9. Дорезюк Н.И. Гармонический анализ периодических неоднородностей волнового сопротивления коаксиальных кабелей // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. – 1974. – № 6. – С. 18–22.
10. Дорезюк Н.И., Попов М.Ф. Радиочастотные кабели высокой регулярности. – М.: Связь, 1979. – 104 с.
11. Митрошин В.Н. Автоматизация технологических процессов производства кабелей связи. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 140 с.
12. Чостковский Б.К. Методы и системы оптимального управления процессами производства кабелей связи. – М.: Машиностроение, 2009. – 190 с.
13. Чостковский Б.К., Митрошин В.Н. Стратегия синтеза и оптимизации цифровых систем управления технологическими процессами производства кабелей связи // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2017. – № 4(56). – С. 65–75.
14. Чостковский Б.К. Математическая модель формирования обобщенных параметров качества нерегулярных кабелей связи в стохастической постановке // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физико-математические науки. – 2006. – Вып. 42. – С. 147–161.
15. Merki H.A. Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation // Wire Ind. – 1983. – vol. 50. – № 389. – P. 39–42.
16. Boysen R.L. How to solve problems in the extrusion of cellular PE in coaxial cables // Wire Journ. – 1972. – v. 5. – № 1. – P. 51–56.
17. Гроднев И.И., Фролов П.А. Коаксиальные кабели связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.
18. А.с. СССР 1112314, G01R 27/18. Устройство для контроля диэлектрической проницаемости изоляции кабельных жил / Б.К. Чостковский, В.Н. Митрошин, Д.А. Уклейн, А.А. Павлов. – № 3529090/18-21, заявл. 18.06.1982, опубл. 07.09.1984, Бюл. № 33/1984 – 6 с.
19. Savolainen A., Heino A., Lehtinen O. Insulation of telephone singles with cellular polythene. – Wire Industry, 1984, vol. 51, № 612, p. 907–909.
20. Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H. Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. – Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 1, s. 28–31.
21. Митрошин В.Н. Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37–44.
22. Прокудина Е.О., Митрошин В.Н. Управление процессом изолирования проводных кабелей связи на основе системного подхода // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – Вып. 2 (46). – С. 196–199.

23. *Ковригин Л.А.* Расчет механических напряжений в изоляции кабелей с учетом зависимости модуля Юнга от температуры // Вестник ПГТУ. Технологическая механика. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2002. – С. 64–70.
24. *Овсиенко В.Л., Шувалов М.Ю., Крючков А.А., Троицкая Г.А.* Внутренние механические напряжения в изоляции высоковольтных кабелей и их влияние на электрическую прочность // Электротехника. – 1999. – № 8. – С. 28–33.
25. *Карякин Н.Г., Фурсов П.В.* Расчет возможности образования воздушных включений в пластмассовой изоляции кабеля при охлаждении // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. – 1977. – № 5. – С. 8–11.
26. *Костенко Э.М., Перфильев А.Н.* Исследование усадки кабельной полиэтиленовой изоляции // Конструирование и исследование высокочастотных кабелей. – Л.: Связь, 1974. – С. 180–187.
27. *Mitroshin V.N., Mitroshin Y.V.* Optimal control of cable insulation cooling at extrusion line // IEEE Xplore, 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016, Pages: 1–4, DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910886.

Статья поступила в редакцию 10 июня 2018 г.

AUTOMATION OF THE ISOLATION PROCESS BY POLYMER IN THE MANUFACTURE OF WIRED COMMUNICATION CABLES

V.N. Mitroshin, S.A. Kolpashchikov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *The procedure for selecting the quality indicators of the technological operation of applying polymer insulation in the manufacture of wired communication cables has been considered. It is shown that the quality indicators depend on the type of products, the type of polymer insulation applied, the working frequency band of the signal transmitted through the cable. Ways to ensure the guaranteed maintenance of the performance characteristics of the cable being manufactured during its service life have been proposed. Problems are formulated to solve when automating technological processes of superimposing various types of polymer insulation: continuous, chemically foamed and physically foamed.*

Keywords: *communication cables, polymer insulation, extrusion lines, automation.*

REFERENCES

1. *Semenov A.B., Strizhakov S.K., Suncheley I.R.* Structured Cabling Systems. Moscow: IT Co., DMK Press, 2002. 640 p. (In Russian).
2. *Belorussov N.P., Grodnev I.I.* Radio Guide Cables. Moscow: Energy, 1973. 328 p. (In Russian).
3. *Grodnev I.I., Vernik S.M.* Communication lines: Textbook for universities. Moscow: Radio i Svyaz', 1988. 544 p. (In Russian).
4. *Efimov I.E., Ostan'kovich G.A.* Radio frequency transmission lines. Radio Guide Cables. Moscow: Svyaz', 1977. 408 p. (In Russian).
5. *Mitroshin V.N.* Control of Melt Polymer Pressure in the batching Zone of the Single-Screw Extruder with pulsating Pressure Gradient // Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences". № 1 (29). 2011. P. 39–44 (In Russian).
6. *Rauwendaal C.* Polymer Extrusion. SPb: Profession, 2008. 768 p. (In Russian).
7. *Torner R.V.* Theoretical bases of polymer processing. Moscow: Chemistry, 1977. 464 p. (In Russian).
8. *Bonvin P.-I., Rodriguez R., Chamov A.V.* Insulation lines for coaxial cables with physical foaming process ExtrucellTM // Cable-news. Vol. 2. 2010. P. 13–18 (In Russian).

*Vladimir N. Mitroshin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Sergey A. Kolpashchikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

9. *Dorezyuk N.I.* Harmonic analysis of periodic inhomogeneities of the wave resistance of coaxial cables // *Electrotechnical industry. A series of "Cable Technology"*. Vol. 6. 1974. P. 18-22 (In Russian).
10. *Dorezyuk N.I., Popov M.F.* High Frequency Radio Frequency Cables. Moscow: Svyaz', 1979. 104 p. (In Russian).
11. *Mitroshin V.N.* Automation of technological processes for the production of communication cables. Moscow: Mashinostroenie-1, 2006. 140 p. (In Russian).
12. *Chostkovsky B.K.* Methods and systems for optimal control of communication cable production processes. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 190 p. (In Russian).
13. *Chostkovsky B.K., Mitroshin V.N.* Strategy of Synthesis and Optimization of digital Control Systems of technological Processes of Communication Cables Production // *Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences"*. № 4 (56). 2017. P. 65–75 (In Russian).
14. *Chostkovsky B.K.* Mathematical model of the formation of generalized quality parameters of irregular communication cables in a stochastic formulation // *Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Physics and Mathematics Sciences"*. Vol. 42. 2006. P. 147–161 (In Russian).
15. *Merki H.A.* Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation // *Wire Ind.* vol. 50. № 389. 1983. P. 39–42.
16. *Boysen R.L.* How to solve problems in the extrusion of cellular PE in coaxial cables // *Wire Journ.* Vol. 5. № 1. 1972. P. 51–56.
17. *Grodnev I.I., Frolov P.A.* Coaxial communication cables. Moscow: Radio I Svyaz', 1983. 208 p. (In Russian).
18. Patent of USSR 1112314, G01R 27/18. Device for controlling the dielectric constant of the insulation of cable cores / B.K. Chostkovsky, V.N. Mitroshin, D.A. Uklein, Pavlov A.A. № 3529090/18-21, stated 18.06.1982, published 07.09.1984, newsletter № 33/1984. 6 p. (In Russian).
19. *Savolainen A., Heino A., Lehtinen O.* Insulation of telephone singles with cellular polythene // *Wire Industry.* Vol. 51. № 612. 1984. P. 907–909.
20. *Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H.* Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer Kabelummantelungsanlage // *Mess.-Steuern-Regeln.* 22. № 1. 1979. S. 28–31.
21. *Mitroshin V.N.* Multiparameter Control of communicating Cables Production based on predictive Models // *Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences"*. № 4 (40). 2013. P. 37–44 (In Russian).
22. *Prokudina E.O., Mitroshin V.N.* Control of Telecommunication Cable Isolation Process by Means of the System Approach // *Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences"*. № 2 (46). 2015. P. 196–199 (In Russian).
23. *Kovrigin L.A.* Calculation of mechanical stresses in the insulation of cables, taking into account the dependence of the Young's modulus on temperature // *Collection of scientific papers "Bulletin of Perm State Technical University. Technological mechanics"*. Perm: Publishing house PSTU, 2002. P. 64–70 (In Russian).
24. *Ovsienko V.L., Shuvalov M.Yu., Kryuchkov A.A., Troitskaya G.A.* Internal mechanical stresses in insulation of high-voltage cables and their effect on dielectric strength // *Electrical Engineering.* № 8. 1999. P. 28–33 (In Russian).
25. *Karyakin N.G., Fursov P.V.* Calculation of the possibility of the formation of air inclusions in plastic insulation of the cable during cooling // *Electrotechnical industry. A series of "Cable Technology"*. Vol. 5. 1977. P. 8–11 (In Russian).
26. *Kostenko E.M., Perfilyev A.N.* Study of shrinkage of polyethylene cable insulation // *Design and study of high-frequency cables.* Leningrad: Svyaz', 1974. P. 180–187 (In Russian).
27. *Mitroshin V.N., Mitroshin Y.V.* Optimal control of cable insulation cooling at extrusion line // *IEEE Xplore, 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016, Pages: 1–4, DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910886.*

УДК 50.03.05

УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ ПРИ ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Т.В. Моисеева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
Россия, 443010, г. Самара, ул. Садовая, 61

Аннотация. Выявлены проблемы, связанные с управлением знаниями при интересубъективном управлении инновационным развитием социотехнических объектов. Рассмотрена специфика интересубъективного управления в контексте анализа проблемной ситуации, в которой оказываются акторы, работающие в социотехнических объектах, определяющая необходимость управления знаниями. Показано отличие производственных проблемных ситуаций, возникающих в ходе деятельности социотехнических объектов, от тех ситуаций, в которых оказываются люди – объекты этих производственных ситуаций, но в качестве субъектов. Отмечена важность всестороннего анализа проблемных ситуаций и выявления разных смыслов, которые вкладывают гетерогенные акторы в понятие одной и той же проблемной ситуации, поскольку их попытки разрешить проблемную ситуацию могут потерпеть неудачу, если гетерогенные участники наделяют ее различными смыслами и в результате не могут прийти к единому решению, подходящему для всех. Проведен анализ этапов построения онтологии интересубъективной модели. Проведена структуризация источников информации, необходимых для построения общего смыслового пространства, являющаяся основой для дальнейшего анализа трансформации знаний. Показано, как трансформируются знания (от неявных – к явным) в ходе выстраивания общего смыслового пространства акторов. Проведена аналогия модели преобразования знаний в теории интересубъективного управления с моделью трансформации знаний Нонака – Такеучи, разработанной для управления знаниями в организации. Отмечено, что трансформация неявного знания представляет собой сложный итеративный процесс, развивающийся как спиральное взаимодействие до тех пор, пока оно не будет максимально выражено и не станет явным, проходя в своем развитии не один цикл спирали трансформации знаний.

Ключевые слова: интересубъективное управление, инновационное развитие, управление знаниями, явные знания, неявные знания, онтология, трансформация знания.

Введение

Управление современными социотехническими объектами (сложными системами, в которых организовано взаимодействие человека и технико-технологических средств с целью производства какого-либо продукта (и материального, и нематериального)) в подавляющем большинстве случаев основано на принципах классического менеджмента, который ассоциируется со средствами, методами и видами управления людьми и производством для достижения поставленных целей, т. е. с координированием и руководством. Несмотря на то, что теоретики менеджмента утверждают, что главную роль в этом процессе играет

человек, подразумеваются администраторы и руководители, наделенные полномочиями для принятия решений и являющиеся субъектами управления. Их деятельность направлена на объекты, нуждающиеся в регулировании, к которым относятся разные виды ресурсов и структурных единиц, среди которых можно выделить и других людей, которым уже не отводится основная роль в процессах принятия решений, т. е. персонал.

Инновационное развитие социотехнических объектов должно отличаться от традиционного тем, что в управление реально встраиваются люди из повседневности (акторы) с их потребностями, определяемыми личностью каждого из них, наделенной духовными качествами, а не обезличенная проекция человека в модели управления [1]. Определение инновации как социального процесса, связанного с осмыслением акторами проблемной ситуации и формированием ими представления о некотором нововведении, с помощью которого ее можно было бы урегулировать [2], лежит в основе нового понимания инновационного развития социальных объектов.

Традиционный менеджмент имеет в своем арсенале различные технологии принятия решений, успешно применяемые на практике. Люди из повседневной жизни такими технологиями не владеют и вынуждены самостоятельно искать способы урегулирования осознаваемых ими проблемных ситуаций. Теория интересубъективного управления, лежащая в основе эвергетики [3, 4], дополняющей классическую теорию, предполагает участие таких людей из повседневной жизни в процессах принятия решений [5] и предлагает алгоритм принятия решений, направленных на поиск выхода из проблемных ситуаций, в которых оказываются люди – объекты управления с точки зрения классической теории и субъекты управления с позиции нового подхода, который наделяет этих людей функцией главной движущей силы в процессах принятия решений, играющей в них ведущую роль.

Основные положения теории интересубъективного управления были сформулированы В.А. Виттихом в [6], результаты ее дальнейшего развития представлены в [7, 8]. Значимость роли, которую играют гетерогенные акторы (выполняющие деятельностные функции, а не только созерцающие и познающие окружающий мир) в процессах управления, была обоснована в [9]. Важность построения коммуникативной смысловой модели, представляющей взгляды группы акторов на проблемную ситуацию, определена в [10], онтологические модели ситуаций как основу смысловых моделей предложено использовать в [11, 12, 13, 14], технологии и примеры практической реализации теории интересубъективного управления в самоорганизованных сообществах представлены в [10, 15].

В ходе разработки теории интересубъективного управления и ее практического применения в социотехнических объектах выявилась необходимость четкого понимания, какой смысл вкладывают гетерогенные акторы в понятие проблемной ситуации, поскольку попытки разрешить одну и ту же проблемную ситуацию, в которую разные ее участники вкладывают разный смысл, не позволяют им прийти к единому, устраивающему всех решению. Исследование того, как проблемная ситуация в процессе ее познания трансформируется в проблему, наделенную единым смыслом разнородными акторами, представлено в [16]. В основе данной трансформации лежат коммуникации акторов, в ходе которых каждый из них должен привести доводы в пользу предлагаемого решения, поделиться информацией, которой он владеет, представить свои знания другим акторам. Поэтому проблема управления знаниями, описанная Икуджино Нонака

(Ikujiro Nonaka) и Хиротака Такеучи (Hirotaka Takeuchi) в книге «Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах» [17], особо остро встает в теории интересубъективного управления.

При разрешении проблемной ситуации обычно есть временные ограничения, поэтому управление процессами создания, накопления и применения знаний в группе акторов может сократить время поиска выхода из нее, дав возможность членам группы своевременно получить требуемую информацию.

Управление знаниями в организациях традиционно направлено, в первую очередь, на извлечение знаний из людей, ими обладающих, для повышения эффективности и производительности производства, по сути, чтобы организация могла работать лучше, уменьшая тенденцию «изобретать колесо». Управление знаниями при интересубъективном управлении является одной из наиболее важных задач и необходимо практически на каждом этапе анализа проблемной ситуации и поиска выхода из нее для того, чтобы рассмотреть проблемную ситуацию с разных сторон, учесть точки зрения всех акторов, понять, что скрывается за информацией, полученной в результате вербальных и невербальных коммуникаций, для того, чтобы в процессе общения достичь взаимопонимания. Отметим, что вторую жизнь управление знаниями получило именно благодаря смещению акцента с самого «знания» на людей, которые владеют, делятся им и используют его, что в целом совпадает с парадигмой интересубъективного управления.

Поэтому целью проведения исследования, результаты которого отражены в данной статье, является изучение процесса трансформации знаний акторов, участвующих в разрешении проблемной ситуации, от неявных – к явным, от неопределенности – к решению, т. е. к новому знанию, каковым становится найденное решение – выход из проблемной ситуации.

1. Проблемная ситуация

Проблемная ситуация может быть идентифицирована как «возникающее в процессе практической или духовной деятельности противоречие между определенной социальной потребностью и наличными средствами ее адекватного удовлетворения» [18]. В таких ситуациях люди оказываются постоянно и в ходе своей производственной деятельности, и в повседневной жизни.

Обычно мы пытаемся разрешить не одну, а несколько проблем, с которыми столкнулись и из которых не смогли найти выход сразу. Осознание проблемы заставляет человека задуматься о том, что нужно делать, как разрешить противоречие между наличием потребности и незнанием, каким может быть выход из данной проблемной ситуации.

В социотехнических объектах фиксируются проблемные ситуации двух видов:

- проблемные ситуации, связанные непосредственно с организацией производственных процессов;
- проблемные ситуации, в которых оказываются сотрудники предприятий как простые люди из повседневности.

Традиционный менеджмент предлагает технологии принятия решений в ситуациях первого вида. Главное отличие производственной проблемной ситуации заключается в том, что обычно она связана не с постановкой задачи, а со способом достижения уже поставленной цели, с ориентацией на выявление так называемых объективных законов функционирования систем. Ограничения при этом оказываются установлены, задачи, требующие решения, сформулированы с по-

зиций классической научной рациональности. Проблема заключается в том, чтобы понять, как наилучшим образом можно достичь намеченной цели. Субъективные факторы, определяемые личностями конкретных участников событий, при этом не учитываются, а лицом, принимающим решения, является руководитель (менеджер), который должен обладать видением перспектив развития проблемной ситуации и объяснять подчиненным взаимосвязь событий, а также отбирать оптимальные с его точки зрения варианты.

Поиск выхода из ситуаций второго вида, в которых оказывается субъект, зависит от многих характеристик его личности, ценностной ориентации, культуры, сложившихся в данный момент внешних условий. Каждый человек обладает собственными эмерджентными свойствами, а значения, которыми люди наделяют события, частично отражают сформировавшиеся представления и уже накопленные ранее знания. Поэтому решения в сходных на первый взгляд ситуациях окажутся совершенно различными. Акторы (осуществляющие познавательно-деятельностные функции) могут увидеть проблемную ситуацию только через призму собственного опыта, образования, воспитания и пр. Их субъективные ожидания формируются в соответствии с личностными конструктами, то есть представлениями и когнитивными шаблонами, относящими ситуацию к категории похожих или непохожих на другие. Зачастую акторы в своих рассуждениях и поступках не стремятся достичь максимальной выгоды, предпочитая поддаваться эмоциям (как отмечал Герберт Саймон, автор теории «ограниченной рациональности» [19]), а сами проблемные ситуации оказываются сложно структурированными и плохо формализованными.

В отличие от производственных проблемных ситуаций, для разрешения которых в классическом менеджменте есть богатый арсенал средств, проблемные ситуации, в которых оказываются акторы – активные люди, готовые действовать, являются плохо изученными теорией управления.

Все это усложняет разработку методики поиска выхода из проблемных ситуаций.

Многие грани проблемной ситуации могут остаться незамеченными актором, который понимает, что, возможно, и поиск выхода в данных обстоятельствах оказывается ограничен из-за лимитированности его взглядов. Действительно, суждения одного человека более ограничены, а вероятность принятия неудовлетворительного решения или вовсе его непринятия выше, чем при работе в группе. Групповое решение может оказаться более «богатым», чем индивидуальное, поскольку на его принятие влияют различные феномены восприятия и особенности переработки информации разными людьми [20]. Человек может лишь частично составить образную картину ситуации, поэтому он принимает от других то, чего недостает в его собственном опыте, обладая структурой индивидуального сознания, отвечающей факту существования других индивидов (интерсубъективность). К тому же его собственные ресурсы могут быть сочтены недостаточными для реализации принятого решения. Рациональный актор откажется от принятия индивидуального решения, испытывая дефицит личных ресурсов (материальных, финансовых, информационных и пр.). В результате возникает необходимость взаимодействия с другими акторами, вовлеченными в проблемную ситуацию, для использования альтернативных конструктов и совместного поиска решения, что позволяет увидеть ситуацию с разных сторон, а проверка альтернатив обогащает каждую индивидуальную систему конструктов актора, которая является динамической структурой, лежащей в основе адаптивности и способности человека рас-

сматривать параметры ситуации с различных точек зрения в ходе совместного дискурса для принятия решения путем консенсуса.

Взаимодействие гетерогенных акторов может осложняться тем, что они вкладывают разный смысл в понятие, казалось бы, одной и той же проблемной ситуации, что не позволяет им прийти к единому, устраивающему всех решению. Поэтому несмотря на одинаковое звучание наименования проблемной ситуации сама ситуация может пониматься разными акторами по-разному, и, следовательно, поиск смысла ситуации и приведение его к общему знаменателю всеми акторами необходимо проводить на начальном этапе поиска решения [21] (рис. 1).

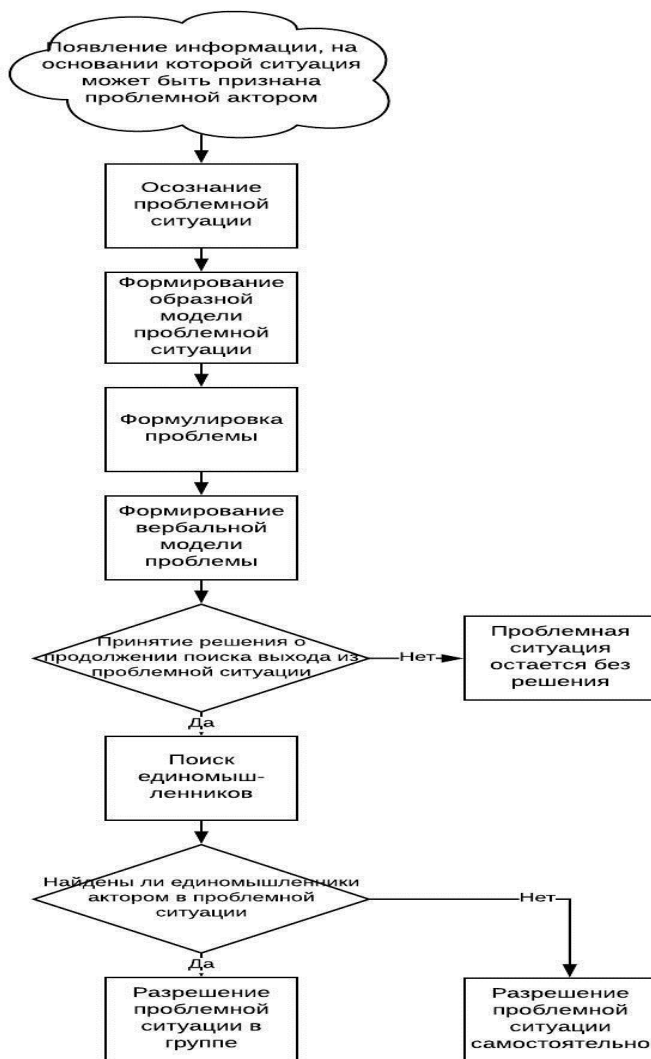


Рис. 1. Алгоритм осознания проблемной ситуации и поиска единомышленников

Человек, обнаруживший себя в проблемной ситуации, осознавший себя в ней, принявший решение действовать, проявляет себя в роли актора. Он формулирует проблему, которая принимает форму отражения объективного феномена его субъективным сознанием. Проблема отражает проблемную ситуацию в виде системы высказываний о ней. Решение проблемы непременно содержит вопросы,

для ответа на которые необходимо получить новые знания. Это отличает проблему от задачи, решение которой может основываться только на имеющихся знаниях. Таким образом, определим проблему как исходную форму организации знаний в виде системы высказываний о проблемной ситуации, а также совокупность вопросов, которые необходимо решить, чтобы найти выход [18].

Сложность применения известных средств моделирования и формализации проблемной ситуации заключается в том, что она слабо структурирована, трудно формализуема, уникальна, содержит множество разнородных факторов (не обладающих целостностью, полнотой, частично не интерпретируемых, не обоснованных), характеризующих проблемную ситуацию. Каждый участник процесса коллективного принятия решений по-своему ощущает феномен проблемной ситуации, продуцируя ее оригинальную смысловую модель, что обобщенно можно объяснить различием ценностных установок акторов, а также их ограниченной рациональностью, когда модель поведения актора отнюдь не предполагает, что люди никогда не делают того, что противоречит их интересам, и всегда ведут себя как «рациональные» индивиды. В соответствии с концепцией ограниченной рациональности большая часть людей рациональна только отчасти, а зачастую их поведение имеет эмоциональную или иррациональную окраску [19].

Источниками информации, необходимой для построения общего смыслового пространства, являются:

- эмпирические данные и теоретические знания акторов;
- предпочтения и интуиция каждого актора;
- нормативно-правовые акты и официальные документы, касающиеся данной проблемной ситуации;
- знания и оценки внешних по отношению к данной проблемной ситуации экспертов (в случае их привлечения) и пр. (рис. 2).

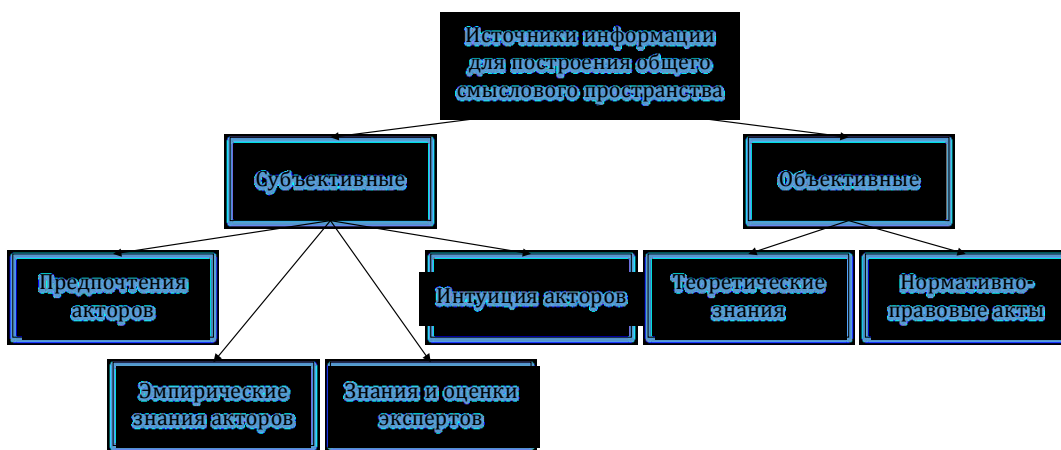


Рис. 2. Источники информации для построения общего смыслового пространства

Осознавшие себя в одинаково звучащей проблемной ситуации акторы могут сформулировать разные системы высказываний о ней. Очевидно, что разные системы высказываний о ситуации приведут к формулированию разных вопросов, требующих разрешения, а результатом ответов на них окажется различное разрешение изначально одинаково сформулированных проблемных ситуаций.

Поскольку актер вынужден искать других субъектов, оказавшихся в подобной проблемной ситуации и осознающих аналогичную проблему, а также сам выход из проблемной ситуации интерсубъективно (т. е. совместно с другими людьми), для него важно в ходе коммуникаций правильно ассоциировать себя с нужной группой людей, идентично осознающих проблемную ситуацию, а всей группе необходимо в ходе ведения переговоров образовывать ситуативную ассоциацию единомышленников, отсекая инакомыслящих (они могут формировать иные ситуативные ассоциации в соответствии со своим осознанием проблемы).

В опубликованных ранее работах [3, 4, 5] использовалось понятие смысла ситуации в соответствии с [22]. С учетом того, что в «общечеловеческом» понимании слово «смысл» имеет значение, ассоциируемое, например, со смыслом жизни, в контексте теории интерсубъективного управления его значение было понятным специалистам, но при попытках применить основные положения теории на практике такое толкование термина вызывало некоторое недопонимание между актерами. Поэтому следует пояснить, что смысл проблемной ситуации есть ее видение актером, сформулированное в виде вопроса к задаче, требующей разрешения, совместно с другими актерами. Отметим, что нравственно-ценностные установки и личный опыт каждого актера уникальны и не могут совпадать с установками и опытом других актеров. Однако для понимания смысла, вкладываемого в разрешение проблемной ситуации разными актерами, в полном совпадении нет необходимости. Достичь полной тождественности понимания невозможно, но поскольку решение вырабатывается актерами совместно, они стремятся получить устраивающее всех решение, преодолевая непонимание и постигая смысл, вложенный в проблемную ситуацию другими актерами, последовательно и неуклонно повышая степень понимания, применяя технологии достижения консенсуса, увеличивая сходимость мнений «благодаря онтологическому единству мира и, следовательно, определенному единству человеческого опыта, а также благодаря единой системе концептуализации мира – общей для всех людей и инвариантной по отношению к индивидуальному опыту» [18].

В процессе формулирования смысла ситуации каждый актер селекционирует из всей совокупности знаний только те массивы, которые необходимы ему сначала для осознания проблемной ситуации, а затем и для ее решения. Учитывая, что любая конкретная проблема является формой перехода от содержательно-конкретного знания к конкретно обрисованной области непознанного, отметим, что проблема (или сформулированный актером смысл ситуации) предопределяет и программирует свое будущее решение. Действительно, формулирование смысла актером содержит намек на конкретную схему будущего решения, что может быть вызвано тем, что, во-первых, некоторым образом упорядоченная система связей между составными частями проблемы является своеобразной «пустой структурой» своего будущего решения, а во-вторых, естественный язык, на котором описывается и формулируется проблема, косвенно содержит указания на возможные пути решения проблемы. Кроме того, прошлый опыт формулирования и разрешения проблемных ситуаций актерами переносится на последующие и при отсутствии необходимости в этом [22]. Именно поэтому решение проблемы интерсубъективно обогащает принятое решение.

2. Трансформация знания акторов в проблемной ситуации

При ведении переговоров акторами, оказавшимися в одной проблемной ситуации, друг с другом происходит трансформация знания, которыми изначально обладают данные акторы, заключающаяся во взаимодействии и преобразованиях неявного (неформализованного) знания акторов и явного (формализованного), которые являются основой создания общей смысловой модели ситуации и последующего принятия решения. Идея трансформации знания, положенная в основу создания знания в организации, предложенная Нонака и Такеучи в теории управления знаниями, может быть приложена и к модели создания знания в проблемной ситуации в теории интересубъективного управления, поскольку результатом ее разрешения также является рождение нового знания, или инновационной идеи [2].

Опираясь на модель трансформации знаний Нонака – Такеучи [16] (рис. 3), включающую в себя четыре процесса преобразования и передачи явного и неявного знания в организации, отметим, что создание общего смыслового пространства акторов, описанное автором в [10], и принятие решения по поводу выхода из проблемной ситуации также происходят в результате непрерывного динамического взаимодействия неявного и явного знания.

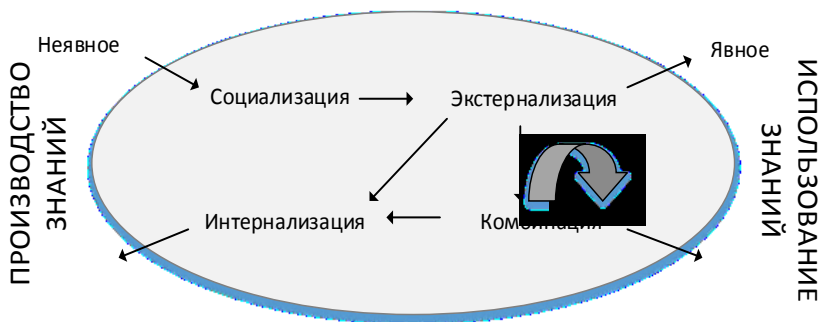


Рис. 3. Четыре вида трансформаций явного и неявного знания: социализация – преобразование неявного знания в неявное; экстернализация – преобразование неявного знания в явное; комбинация – преобразование явного знания в явное; интернализация – преобразование явного знания в неявное

Неявные знания хранятся глубоко в сознании человека и «просыпаются» в соответствующей ситуации. Неявные знания гетерогенных акторов различны, зависят от контекста, ими трудно поделиться, поскольку они не облачены в форму слов, формул, таблиц. Для извлечения неявных знаний необходимы процедуры социализации акторов, которые легче организовать при их непосредственном общении. Поэтому при поиске выхода из проблемной ситуации работу с неявными знаниями проще организовать в небольших группах людей, которых обстоятельства вынуждают сталкиваться face-to-face, например среди сотрудников одной организации, студентов одной группы, жильцов одного дома.

Социализацией в модели Нонака – Такеучи называется процедура передачи неявного (скрытого) знания от одного человека к другому. Социализация начинается с организации общего поля взаимодействия участников проблемной ситуации, когда они ищут единомышленников, оказавшихся в подобных ситуациях, объединяются с ними для организации дальнейшего взаимодействия и вступают

в полилог для формирования единого смыслового пространства, способствующего непосредственному распространению интеллектуальных моделей, то есть неявного знания, отдельных акторов.

Совместные действия акторов в ходе обсуждения проблемы, сопровождающиеся использованием невербальных форм общения и образного языка графического представления, а также наблюдения, подражания и участия, являются основным механизмом их социализации.

Акторы пытаются понять проблемную ситуацию, то есть сформулировать ее смысл на основе того предпонимания, которое складывается у них в зависимости от индивидуальных ценностно-целевых установок в процессе анализа и обобщения данных, доступных каждому актору. Выявляя допустимую семантику информации о действительности, предпонимание, которое представляет собой совокупность априорных знаний актора, соответствует его предметному миру [23]. На основе этих персональных знаний субъект постигает смысл сложившейся ситуации. Очевидно, что в первую очередь задействуются и актуализируются именно глубинные персональные знания, приобретенные акторами ранее (еще до появления проблемной ситуации). Столкнувшись в сложившейся ситуации с неопределенностью и неясностью, субъект старается использовать персональные знания других людей, поскольку у каждого из них есть собственное предпонимание ситуации. Неявное субъективное знание, которое актер считает значимым и «правильным», может стать ценным и для других акторов. Общая проблемная ситуация заставляет их вступать во взаимодействие для участия в принятии совместных решений. Знакомство с точками зрения других акторов может привести к трансформации его собственных взглядов на проблемную ситуацию.

Это очень важный этап, определяющий весь ход дальнейшего взаимодействия акторов и зависящий от качества процесса управления знаниями.

В результате социализации создается дружественное знание (общие ментальные модели и навыки), формируется доверие в группе, что является непременным положительным фоном принятия совместного решения. Этот этап когнитивного моделирования характеризуется переходом от полностью не формализованных, не структурированных знаний к знаниям с более высоким рангом формализации – слабо структурированным знаниям.

Экстернализация инициируется полилогом, или коллективным размышлением, с использованием таких приемов, которые переносят свойства одного предмета или действия на другой, придавая им эмоциональную окраску. К таким приемам можно отнести применение метафор и аналогий. Акторы делятся своими убеждениями и знакомятся с чужими идеями, получая при общении обратную связь и параллельно обучаясь лучше формулировать свои мысли с помощью слов. В процессе экстернализации участвуют люди, входящие в состав группы и вырабатывающие концептуальное знание, включающее в себя совместно сформированные концепции и базовые модели. Происходит преобразование неявного знания (слабо структурированного и слабо формализованного) в явное (кодифицированное, структурированное и формализованное), которое может быть передано с помощью формальных средств коммуникаций. Участники проблемной ситуации формулируют свое видение как описание, алгоритмы действий, которые можно систематизировать для более наглядного представления в виде таблиц, что делает их доступными для других акторов и облегчает обработку.

Следуя конвенциональной концепции истины А. Пуанкаре, расценивающей истину как результат соглашения, прежде чем приступить непосредственно к по-

иску выхода из проблемной ситуации, в среде коммуницирующих акторов в процессе экстернализации достигается соглашение о признании некоторого субъективного знания, названного интересубъективным [24], истинным для данного ограниченного круга лиц. Оно является результатом договоренности акторов в рамках пяти видов интересубъективности: нормативной, эмпирической, семантической, логической и операциональной [25]. Эти знания могут быть представлены с помощью различных онтологий, например онтологии принятия решений, онтологии корпоративной культуры, нормативной онтологии и пр. [26].

На этом этапе происходит извлечение персональных знаний участников проблемной ситуации, их формализация и представление прочим причастным акторам в подходящем виде. Для актуализации персональных знаний акторов могут разрабатываться их персональные онтологии, фиксирующие предпонимание и являющиеся по сути субъектно-ориентированным интерфейсом предметной области, представляющей интерес для актора в контексте данной проблемной ситуации. В дальнейшем данные онтологии могут быть размещены в компьютерных сетях.

Допустимо множество толкований, отвечающих сосуществующим предпониманиям. Они могут оказаться противоречивыми или, выражая каждое узкий взгляд на проблемную ситуацию, взаимно дополнить друг друга. Это отражается в возможности одновременного построения на данном этапе концептуального анализа онтологического моделирования сразу нескольких онтологий предметной области, отличающихся друг от друга. Эти онтологии – онтологии «целевой» предметной области – неизбежно дополняются независимо существующими онтологиями других предметных областей.

Комбинация, или объединение, способствует передаче явного знания, образуя связи между уже имеющимся знанием, но принадлежащим другим акторам, и только что созданным. Такой процесс трансформации одной формы явного знания в другую приводит к появлению прототипов – абстрактных образов, воплощающих множество форм одной и той же проблемной ситуации (при этом формируется интересубъективная модель проблемной ситуации, включающая различные точки зрения на ситуацию).

Исчерпывающее представление обо всех онтологиях, вовлекаемых в процедуру принятия решения, связанного с урегулированием проблемной ситуации, позволяет получить аналитические методы онтологического моделирования, а согласование предпониманий акторов поддерживается методами сравнения и объединения онтологий.

Передача знаний акторов осуществляется с помощью современных инфокоммуникационных средств, доступных акторам.

Интернализация представляет собой процесс преобразования явного знания в неявное, когда опыт акторов через социализацию, а затем экстернализацию и комбинацию наполняет общую ментальную модель разрешения проблемной ситуации и приобретает ценность. Повышению эффективности интернализации способствует приведение формализованных знаний к таким вербальным формам, которые оказываются более стандартизованными, например записанными в виде текстов. Результатом интернализации является общее решение по поводу выхода из проблемной ситуации, когда сообщество акторов решает, что нужно делать. Процесс интернализации – это процесс понимания и впитывания человеком явных знаний, переноса их к тем неявным знаниям, которые у него уже есть.

Трансформация знания на разных этапах интересубъективного управления представлена на рис. 4.

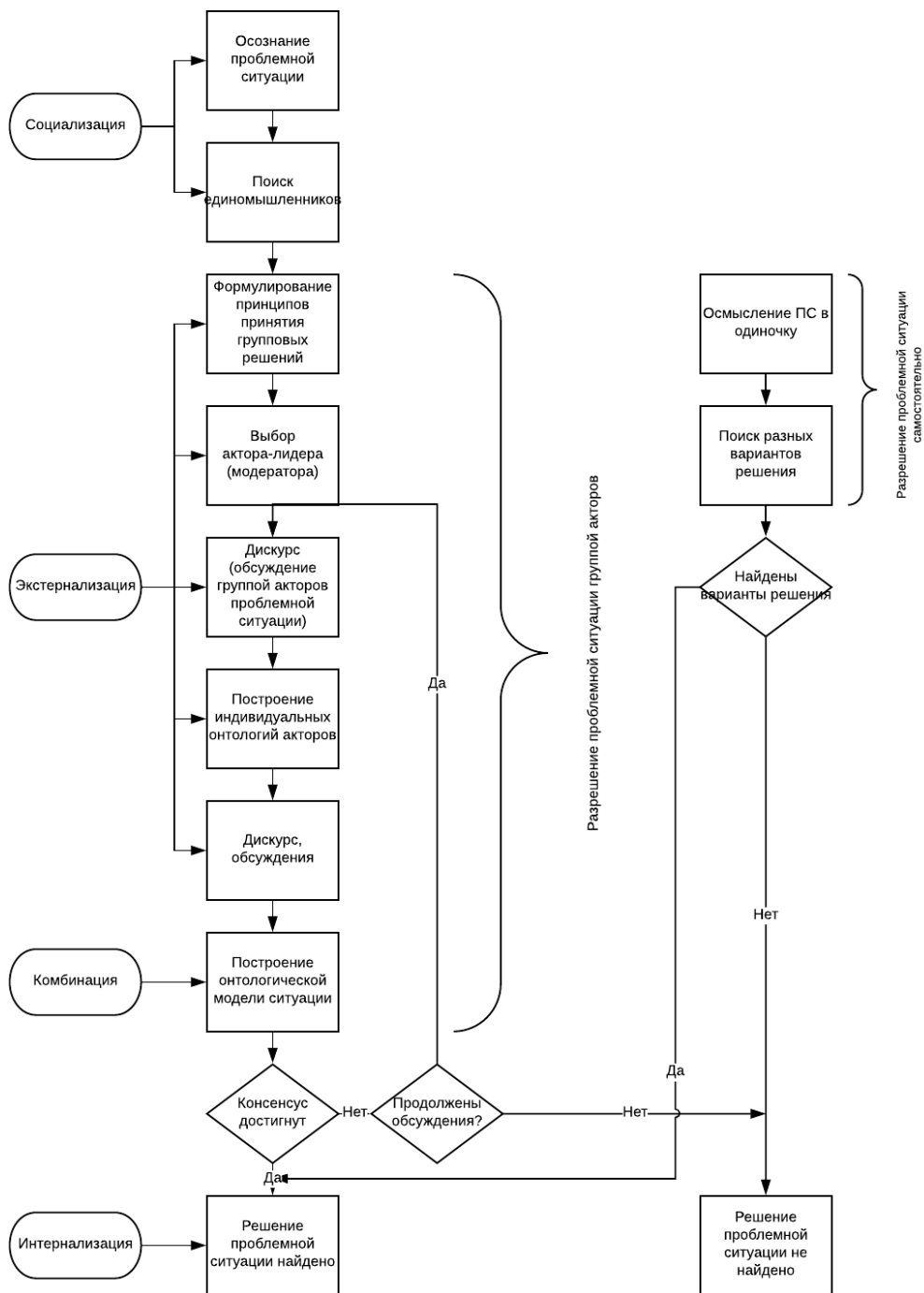


Рис. 4. Трансформация знания в процессе интересубъективного управления

Отметим, что трансформация неявного знания представляет собой сложный итеративный процесс, развивающийся как спиральное взаимодействие до тех пор, пока оно не будет максимально выражено и не станет явным, проходя в своем развитии не один цикл спирали трансформации знаний (рис. 5).

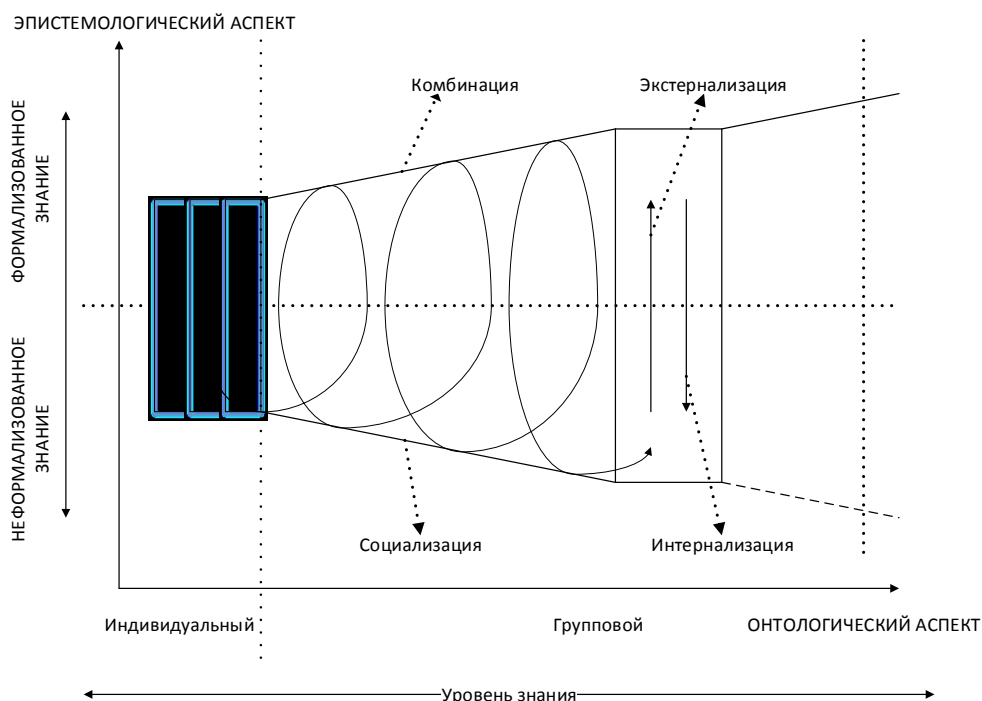


Рис. 5. Спираль трансформации знания

Каждый новый цикл разворачивающейся спирали, каждый виток которой представляет собой новый этап обсуждения проблемной ситуации, обогащает и изменяет знания акторов о проблемной ситуации. При этом, возможно, происходит включение в процесс обсуждения новых акторов. Таким образом, знание обогащает акторов, позволяя им организовать сходимость процесса принятия решения.

Заключение

Управление знаниями является важным средством поддержки интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов. Понимание природы трансформации знаний при поиске выхода из проблемной ситуации группой акторов поможет применить существующие методики управления знаниями (или разработать новые), базисом которых является неформальное общение в группе, а инструментом эффективного обмена знаниями и информацией – современные информационные технологии, что делает возможным использование коллективного опыта и знаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеева Т.В. Инновационное развитие вуза. Интерсубъективное управление // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Том 14. №1. – С. 92–99.
2. Виттих В.А., Горбунов Д.В., Моисеева Т.В., Смирнов С.В. Принципы управления процессом

- рождения инновационных идей // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции. – Самара: СНЦ РАН, 2015. – С. 202–215.
3. *Vitikh V.A.* Проблемы эвергетики // Проблемы управления. – 2014. – № 4. – С. 69–71.
 4. *Vitikh V.A.* Evolution of Ideas on Management Processes in the Society: from Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 5. P. 825–832.
 5. *Vitikh V.A.* Evergetics: Science of Intersubjective Management Processes in Everyday Life // International Journal Management Concepts and Philosophy. 2016. Volume 9. Issue 2. P. 63–72.
 6. *Vitikh V.A.* Introduction to the theory of intersubjective management // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 1. P. 67–95.
 7. *Моисеева Т.В.* Проблемы intersубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2017. – № 3 (55). – С. 16–31.
 8. *Моисеева Т.В., Мятлишкин Ю.В.* Взаимодействие участников проблемной ситуации // EKONOMICKÉ TRENDY. 2017. No 3. С. 38–42.
 9. *Vitikh V.A.* Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 6. P. 949–956.
 10. *Vitikh V.A., Моисеева Т.В.* Intersубъективное управление: от теории к практике // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XVIII Междунар. конф. – Самара: Офорт, 2016. – С. 53–62.
 11. *Смирнов С.В.* Формальный поход к представлению смысла проблемной ситуации в процессах коллективного принятия решений // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (16–19 июня 2014 г., Москва, Россия). – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 6261–6270.
 12. *Vitikh V.A.* Онтологические модели ситуаций в процессах принятия коллегиальных решений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI Международной конференции. – Самара: СНЦ РАН, 2009. – С. 405–410.
 13. *Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И.* Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», Изд. дом СПбГУ, 2008. – 488 с.
 14. *Смирнов С.В.* Онтологии как смысловые модели // Онтология проектирования. – 2013. – № 2. – С. 12–19.
 15. *Моисеева Т.В., Поляева Н.Ю.* Апробация теории intersубъективного управления в техническом вузе // Problems of modern education: materials of the VIII international scientific conference (September 10–11, 2017), Prague: Vědecké vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2017. P. 16–17.
 16. *Моисеева Т.В.* Поиск смысла в теории intersубъективного управления // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XX Междунар. конф. – Самара: Офорт, 2018. – С. 279–284.
 17. *Nonaka I., Takeuchi H.* The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, Oxford, 1995.
 18. *Никифоров В.Е.* Анализ проблемных ситуаций и методы решения проблем // Курс-конспект лекций и контрольные задания для магистрантов. – Рига, 2008. – 114 с.
 19. *Herbert A. Simon.* Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T.Ely Lecture // American Economic Review. 1978. Volume 68. Issue 2. P. 1–16.
 20. *Briskin A., Erickson S., Ott J., Callanan T.* The Power of Collective Wisdom and the Trap of Collective Folly (Large Print 16pt). Oakland, California: Berrett-Koehler Publishers, 2014. 264 p.
 21. *Моисеева Т.В., Поляева Н.Ю.* Моделирование проблемной ситуации в теории intersубъективного управления // Вестник ДагТУ. Технические науки. – 2018. – № 2. – С. 160–171.
 22. *Frankl V.E.* Man's Search for Meaning: an Introduction to Logotherapy. New York: Perseus Book Publishing, 2000.
 23. *Vitikh V.A.* Персонализация знаний // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IX международной конференции. – Самара: СНЦ РАН, 2007. – С. 441–446.
 24. *Vitikh V.A.* Когнитология развивающихся систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 10. – С. 45–49.
 25. *Хюбнер К.* Истина мифа. – М.: Республика, 1996. – 448 с.
 26. *Vitikh V.A., Игнатъев М.В., Смирнов С.В.* Онтологии в intersубъективных теориях // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 5. – С. 69–70.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2018 г.

KNOWLEDGE MANAGEMENT IN THE INTERSUBJECTIVE MANAGEMENT OF SOCIO-TECHNICAL OBJECTS INNOVATIVE DEVELOPMENT

Tatiana V. Moiseeva

Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences
61, Sadovaya str., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *The paper deals with the problems associated with knowledge management in the intersubjective management of socio-technical objects innovative development. The specific of intersubjective management is shown, which defines knowledge management need and is connected with the fact that there can be not only one actor, but several in a problem situation. Each of them has his own personal knowledge in implicit form. Ontology of the situation should be formed, combining all their points of view, for better understanding of the situation. It is shown how knowledge is transformed (from implicit to explicit form) in the course of building common semantic space of actors. Information sources necessary for building common semantic space are structured. This structuring is the basis for further analysis of knowledge transformation. The analogy of The model of knowledge transformation in the theory of intersubjective management is compared with the model of Nonaka – Takeuchi knowledge transformation, which they developed for knowledge management in the organization.*

Keywords: *intersubjective management, innovative development, knowledge management, explicit knowledge, tacit knowledge, ontology, knowledge transformation.*

REFERENCES

1. *Moiseeva T.V.* Innovative Development of the University. Intersubjective Management // Infokommunikacionnye tekhnologii. 2016. Vol. 14. no.1. Pp. 92–99 (In Russian).
2. *Vittikh V.A., Gorbunov D.V., Moiseeva T.V., Smirnov S.V.* Principles of Innovative Ideas Birth Managing // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy XVII Mezhdunarodnoj konferencii. Samara, SNC RAN, 2015. Pp. 202–215 (In Russian).
3. *Vittikh V.A.* Evergetics Problems // Problemy upravleniya. 2014. no.4. Pp. 69–71. (In Russian).
4. *Vittikh V.A.* Evolution of Ideas on Management Processes in the Society: from Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 5. Pp. 825–832.
5. *Vittikh V.A.* Evergetics: Science of Intersubjective Management Processes in Everyday Life // International Journal Management Concepts and Philosophy. 2016. Volume 9. Issue 2. Pp. 63–72.
6. *Vittikh V.A.* Introduction to the theory of intersubjective management // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 1. Pp. 67–95.
7. *Moiseeva T.V.* Problems of Intersubjective Management of Socio-Technical Objects Innovative Development // Vestnik SamGTU. Seriya "Tekhnicheskie nauki". 2017. no. 3(55). Pp. 16–31. (In Russian).
8. *Moiseeva T.V., Myatishkin Yu.V.* The Interaction of the Participants of the Problem Situation // EKONOMICKÉ TRENDY. 2017. no. 3. Pp. 38–42. (In Russian).
9. *Vittikh V.A.* Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics // Group Decision and Negotiation. 2015. Volume 24. Issue 6. Pp. 949–956.
10. *Vittikh V.A., Moiseeva T.V.* Intersubjective Management: from Theory to Practice // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: trudy XVIII Mezhdunar. konf. Samara: OOO «Ofort», 2016. Pp. 53–62. (In Russian).
11. *Smirnov S.V.* Formal Approach to Presentation of the Problem Situation Meaning in Collective Decision-Making Processes// Trudy XII Vserossijskogo soveshchaniya po problemam upravleniya (16-19 iyunya 2014 g., Moskva, Rossiya). M.: IPU RAN, 2014. Pp. 6261–6270. (In Russian).
12. *Vittikh V.A.* Ontological Situations Models in the Processes of Collective Decisions Making // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy XXI Mezhdunarodnoj

Tatiana V. Moiseeva (Ph.D. (Econ.)), Associate Professor, Senior Research.

- konferencii. Samara, SNC RAN, 2009. Pp. 405–410. (In Russian).
13. *Gavrilova T.A., Muromcev D.I.* Intellektual'nye tekhnologii v menedzhmente: instrumenty i sistemy [Intellectual Technologies in Management: Tools and Systems]. Saint-Petersburg, Izd-vo «Vysshaya shkola menedzhmenta», Izd. dom SPbGU, 2008. 488 p. (In Russian).
 14. *Smirnov S.V.* Ontologies as Semantic Models // *Ontologiya proektirovaniya*. 2013. no. 2. Pp. 12–19. (In Russian).
 15. *Moiseeva T.V., Polyayeva N.Yu.* Approbation of the Theory of Intersubjective Management in Technical University // *Problems of modern education: materials of the VIII international scientific conference (September 10–11, 2017), Prague, Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ»*, 2017. Pp. 16–17. (In Russian).
 16. *Moiseeva T.V.* Meaning Search in the Theory of Intersubjective Management // *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy XX Mezhdunarodnoj konferencii*. Samara, Izd -vo OOO «Ofort», 2018. Pp. 279–284. (In Russian).
 17. *Nonaka I., Takeuchi H.*: The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, Oxford, 1995.
 18. *Nikiforov V.E.* Analysis of Problem Situations and Methods of Solving Problems // *Kurs-konspekt lekcij i kontrol'nye zadaniya dlya magistrantov*. Riga, 2008. 114 p. (In Russian).
 19. *Herbert A. Simon.* Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T. Ely Lecture // *American Economic Review*, 1978. Volume 68. Issue 2. Pp.1–16.
 20. *Briskin A., Erickson S., Ott J., Callanan T.* The Power of Collective Wisdom and the Trap of Collective Folly. Oakland, California, Berrett-Koehler Publishers, 2014. 264 p.
 21. *Moiseeva T.V., Polyayeva N.Yu.* Problem Situation Modeling in the Theory of Intersubjective Management // *Vestnik DagTU. Tekhnicheskie nauki*. 2018. no. 2. Pp. 160–171. (In Russian).
 22. *Frankl V.E.* Man's Search for Meaning: an Introduction to Logotherapy. New York, Perseus Book Publishing, 2000.
 23. *Vitih V.A.* Knowledge personalization. // *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy IX Mezhdunarodnoj konferencii*. Samara, SNC RAN, 2007. Pp. 441–446. (In Russian).
 24. *Vitih V.A.* Cognitive Science of Developing Systems // *Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie*. 2011. no. 10. Pp. 45–49. (In Russian).
 25. *Hjubner K.* Istina mifa [Myth's Truth]. Moscow, Respublika, 1996. 448 p. (In Russian).
 26. *Vitih V.A., Ignat'ev M.V., Smirnov S.V.* Ontologies in the Intersubjective Theories // *Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie*. 2012. no. 5. Pp. 69–70. (In Russian).

УДК 519.711.3

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЯЕМЫХ СВОЙСТВ У ОБЪЕКТОВ МНОГОМЕРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Д.Е. Самойлов^{1,2}, В.А. Семенова^{2,3}, С.В. Смирнов²

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34А

² Институт проблем управления сложными системами РАН
Россия, 443020, г. Самара, ул. Садовая, 61

³ Самарская государственная областная академия (Наяновой)
Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 196

Аннотация. *Областью исследований, которой посвящена предлагаемая статья, является онтологический анализ данных. Это комплекс моделей и методов, предназначенный для извлечения из исходного эмпирического материала формальной онтологии исследуемой предметной области – описывающей предметную область совокупности понятий и отношений. Исходному эмпирическому материалу, т. е. данным наблюдений и экспериментов, как правило, свойственна неполнота и противоречивость, обусловленная реалиями накопления эмпирической информации. Это приводит к тому, что необходимый для построения онтологии формальный контекст задачи онтологического анализа данных – соответствие «объекты-свойства» – предварительно может быть представлен лишь в рамках какой-либо многозначной логики. Его требуется аппроксимировать в обычной бинарной логике, поскольку эффективные методы вывода формальных понятий разработаны лишь для однозначных (бинарных) формальных контекстов. Для корректного решения этой задачи в общем случае необходимо знать ограничения существования свойств у объектов исследуемой предметной области. Откуда же априори могут быть известны столь тонкие сведения об еще лишь исследуемой предметной области? Основная идея авторов статьи состоит в том, что эти знания представляют собой продукт априорного гипотезирования субъекта исследования. Выбирая для измерения у объектов многомерного наблюдения и экспериментов определенные свойства, субъект фактически формулирует гипотетические понятия об исследуемой предметной области, а используя фундаментальную когнитивную процедуру – концептуальное шкалирование измеряемых свойств – эти гипотетические представления развивает. При таком формировании системы измеряемых свойств фиксируются вполне определенные ограничения существования свойств, которые определяют структуру этой системы. Апостериори подтверждается лишь часть гипотез субъекта, и, следовательно, верными оказываются некоторые ограничения существования свойств. В статье выявляются и анализируются фундаментальные паттерны структурной организации системы измеряемых свойств, и тем самым предлагается исчерпывающая модель ограничений существования свойств в онтологическом анализе данных.*

Ключевые слова: *система измеряемых свойств, ограничения существования свойств, паттерн структурной организации, онтологический анализ данных, формальный контекст.*

*Дмитрий Евгеньевич Самойлов, студент, лаборант ИПУСС РАН.
Валентина Андреевна Семенова, аспирант Самарской государственной областной академии (Наяновой), м.н.с. ИПУСС РАН.
Сергей Владимирович Смирнов (д.т.н., доц.), главный научный сотрудник.*

Введение

Изучение субъектом ранее неизвестной ему предметной области (ПрО), синтез проектировщиком инновационного продукта, конструирование маркетологом новой потребности и т. п. связаны с *наделением* всякого реального или ментального объекта в *terra incognita* определенными *свойствами* (см., например, [1–4]). Ключевыми здесь оказываются два акта: *гранулирование* действительности, т. е. выделение объектов, отделение объектов друг от друга (сочтем это имманентной способностью нашего сознания и далее рассматривать не будем), и *измерение* у объектов некоторого ограниченного набора характеристик (отсюда «наделение» гранул-объектов свойствами; заметим, что измерять можно и связи, *отношения* между объектами). Таким образом, *первичной* картиной *terra incognita* оказывается соответствие «объекты – свойства» – либо протокол наблюдений и/или экспериментов, либо тактико-технические характеристики необходимой искусственной системы.

Одним из методов дальнейшего «проникновения» в *terra incognita* является *онтологический анализ данных* (ОАД) – вывод *формальной онтологии*, интересующей субъекта ПрО исходя из соответствия «объекты – свойства» [5–7]. Кроме формальной онтологии – описательной модели ПрО – к ОАД можно отнести и извлечение из данных *множества импликаций на признаках объектов* – предсказательную модель ПрО, более известную как целевой результат задачи *поиска ассоциативных правил* [8–10].

Важнейшим этапом ОАД является формирование *однозначного* соответствия «объекты – свойства» – *формального контекста* (ФК) ПрО. Речь идет о кортеже $K = (G^*, M, I)$, где $G^* = \{g_i\}_{i=1, \dots, r}$, $r = |G^*| \geq 1$ – множество наблюдавшихся объектов; $G^* \subseteq G$, G – все гипотетически мыслимое множество объектов исследуемой ПрО; $M = \{m_j\}_{j=1, \dots, s}$, $s = |M| \geq 1$ – априори заданный набор измеряемых у объектов свойств; $|M| \geq 1$; I – бинарное соответствие «объекты – свойства», т. е. совокупность оценок истинности $\|b_{xy}\| \in \{\text{Истина, Ложь}\}$ базовых семантических суждений (БСС) об изучаемой ПрО вида $b_{xy} = \text{«объект } x \text{ обладает свойством } y\text{»}$.

Формирование ФК в общем случае осложнено *неполнотой и противоречивостью* эмпирической информации о ПрО. Это приводит к «размытости» исходного соответствия «объекты – свойства» [7, 11]. Построение *корректного однозначного соответствия* I возможно лишь при учете экзистенциальных зависимостей между измеряемыми свойствами объектов, или *ограничений существования свойств* (ОСС) [7, 12, 13]:

– *обусловленности* $C: M \times M \rightarrow \{\text{Истина, Ложь}\}$, когда, обладая свойством m_j , объект g_i непременно обладает свойством m_k (хотя обратное может быть неверно), т. е. $C(m_j, m_k) = \text{Истина} \leftrightarrow \forall g_i \in G^*: m_j \in \{g_i\}' \rightarrow m_k \in \{g_i\}'$ (здесь и далее «'» есть оператор соответствия Галуа между множествами G^* и M). Отношение C рефлексивно, несимметрично и транзитивно, т. е. $\forall a, b, c \in M: C(a, b) \& C(b, c) \rightarrow C(a, c)$ – рис. 1;

– *несовместимости* $E: M \times M \rightarrow \{\text{Истина, Ложь}\}$, когда, обладая свойством m_j , объект g_i заведомо не обладает свойством m_k , и наоборот, т. е. $E(m_j, m_k) = \text{Истина} \leftrightarrow \forall g_i \in G^*: m_j \in \{g_i\}' \rightarrow m_k \notin \{g_i\}'$. Отношение E антирефлексивно, симметрично и нетранзитивно, но характеризуется так называемой *транзитивностью относительно обусловленности*, т. е. верна импликация $\forall d, e, f \in M: C(d, e) \& E(e, f) \rightarrow E(d, f)$ – см. рис. 1.

Таким образом, ОАД предполагает *априорное* построение исследователем ПрО *системы измеряемых свойств* (СИС) – множества измеряемых свойств

с заданными на нем бинарными отношениями несовместимости и обусловленности, или (M, E, C) -кортежа.

В общей постановке вопросы подобной *структуризации* СИС рассматривались в [14, 15], где установлен ее многоуровневый рекурсивный характер, обусловленный возможностью неоднократно раз за разом повторять процедуру *дизъюнктивного* (номинального) и *уточняющего* (порядкового) *концептуального* *шкалирования* [14–16] измеряемых свойств, расширяя и усложняя СИС. В завершённом виде *стратегия* априорного формирования СИС обоснована в [15] путем реконструкции *логико-понятийного* *генезиса* ОСС.

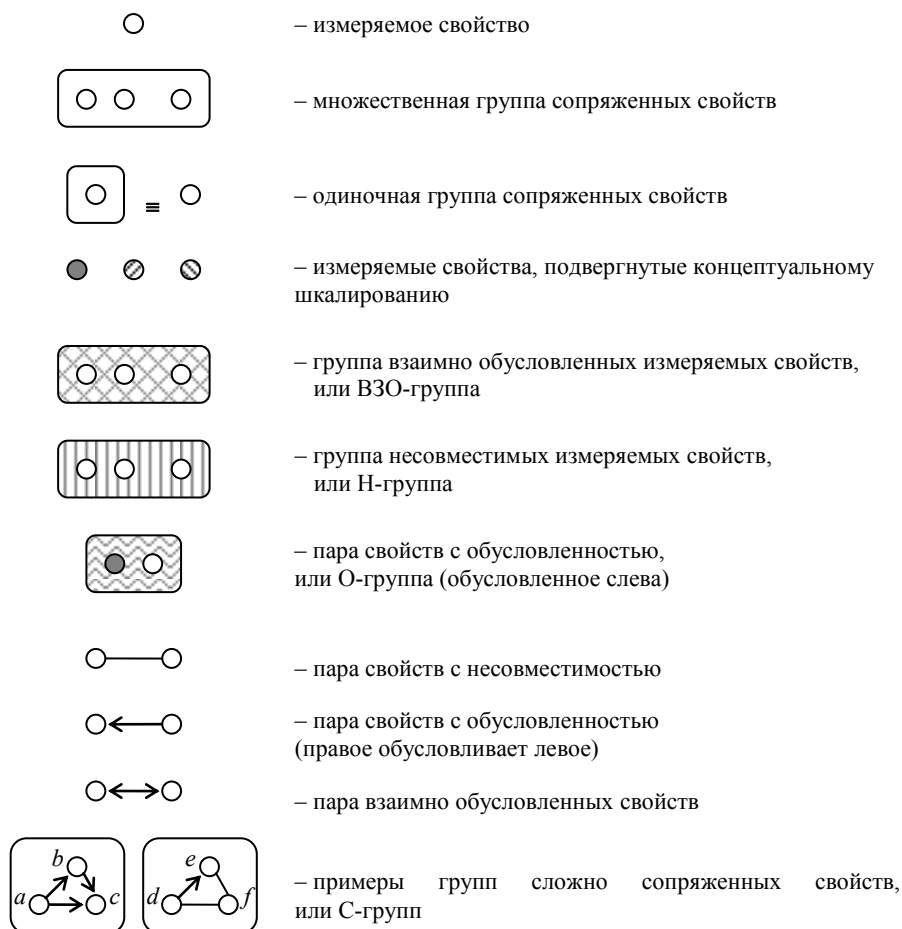


Рис. 1. Основные сущности задачи формирования структуры системы измеряемых свойств и их обозначения (знак «≡» здесь и далее на рисунках используется для указания эквивалентности изображений структурных элементов)

Данная статья посвящена *тактике* формирования СИС, т. е. выявлению всех возможных *шаблонов* выполнения рекурсивной процедуры пополнения множества измеряемых свойств и получаемых при этом результатов – *структурных паттернов сопряжения измеряемых свойств* (ПСС).

1. Группа сопряженных свойств

Рис. 1 вводит графическую нотацию сущностей, необходимых для описания структуры СИС. Среди них стержневым концептом является «*группа сопряженных свойств*» (ГСС):

– измеряемое свойство составляет *одиночную* ГСС, единственный член которой самообусловлен. В качестве графического образа одиночной ГСС может использоваться собственно значок свойства, но в любом случае «петлю самообусловленности» на диаграммах будем только подразумевать;

– ГСС образуют все *отличительные свойства* [1] *гипотетического формального понятия*, вводимого субъектом при формировании СИС (подробно это априорное действие субъекта рассматривается в [15]). Члены такой ГСС *взаимно обусловлены* (ВЗО-группа);

– множество измеряемых свойств, вводимых в *M* в результате *дизъюнктивного шкалирования* уже имеющегося в *M* измеряемого свойства, определяет ГСС, члены которой несовместимы (Н-группа);

– измеряемое свойство, подвергнутое *уточняющему шкалированию*, вместе с измеряемым свойством, вводимым в *M* в результате этого шкалирования, образует ГСС, в которой второе из указанных свойств обуславливает первое (О-группа);

– в сложно сопряженной группе (С-группе) зависимости между измеряемыми свойствами могут быть неоднородными и экзистенциальные отношения между свойствами представлены парами соответствующих связей.

Нетрудно видеть, что такое определение ГСС устанавливает частично упорядоченное отношение *вложенности/замещения* на множестве ГСС. В частности:

– ГСС, включающая *протосвойство* – свойство, измерение которого у наблюдаемых объектов производится в соответствии с *исходным гипотетическим понятием* субъекта об исследуемой ПрО [15], – является корнем дерева вложенности (рис. 2, а);

– ГСС, включающая множество измеряемых свойств, вводимых в *M* в результате *дизъюнктивного шкалирования*, вложена в ГСС, содержащую подвергнутое шкалированию свойство, и его *замещает* (рис. 2, б);

– ГСС, включающая измеряемое свойство, подвергнутое *уточняющему шкалированию*, вместе с измеряемым свойством, вводимым в *M* в результате этого шкалирования, вложена в ГСС, содержащую подвергнутое шкалированию свойство, и его замещает (рис. 2, в);

– ГСС, включающая *множество отличительных свойств* гипотетического формального понятия вместо *одного* такого свойства¹, вложена в ГСС, которая содержит замещаемое отличительное свойство (рис. 2, г);

– ситуация обратная к предыдущей: ГСС, включающая *некоторую часть множества отличительных свойств* гипотетического формального понятия, вложена в ГСС всех этих отличительных свойств и замещает в ней указанную часть свойств (рис. 2, д).

¹ С логической точки зрения количество отличительных свойств гипотетического понятия не влияет ни на гипотетическое понимание ПрО в целом, ни на положение в этой гипотетической картине данного понятия в частности. Количество характеризует лишь «*широту*» описания объектов ПрО из объема рассматриваемого гипотетического понятия. Поэтому отличающее свойство *всегда* может быть замещено набором таких свойств.

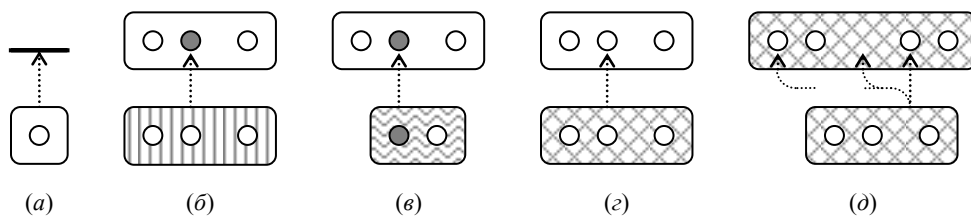


Рис. 2. Вложенность/замещение групп сопряженных свойств

Термин «замещение» применительно к ГСС подчеркивает, что на множестве ГСС, как и на множестве измеряемых свойств, заданы отношения несовместимости и обусловленности.

2. Возникновение элементарных групп сопряженных свойств

2.1. Шкалирование протосвойства

Дизъюнктивное шкалирование. ПСС дизъюнктивного шкалирования протосвойства недвусмысленно следует из определения операции *деления понятия* (фактически это определение интерпретирует деление понятия как результат такого шкалирования) [17, 18]. Речь идет об *исходном гипотетическом понятии* о ПрО, которое выдвигается субъектом при решении измерять протосвойство и содержание которого исчерпывается протосвойством.

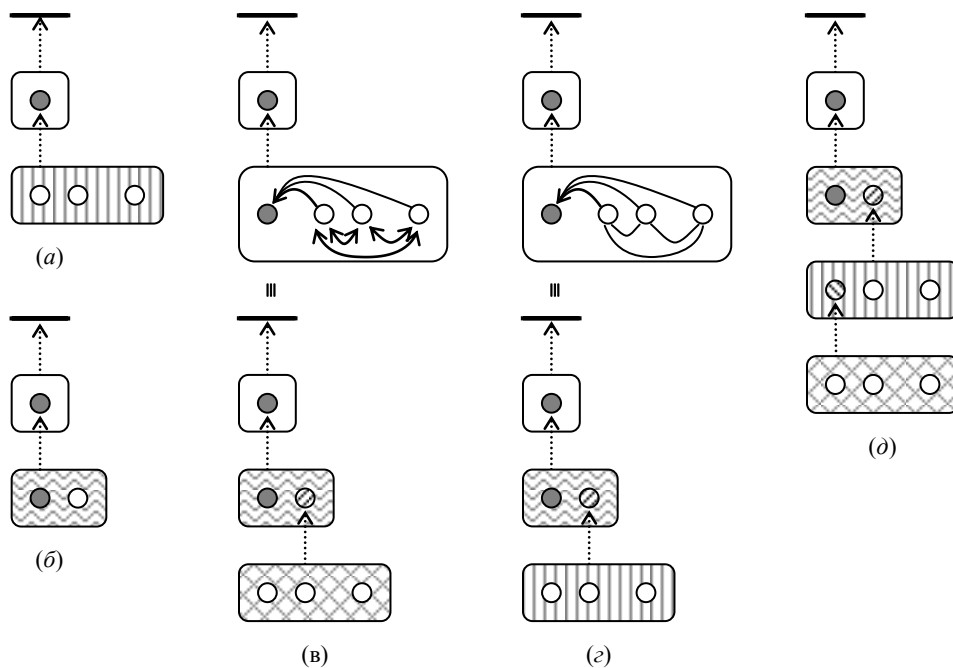


Рис. 3. Структурные паттерны сопряжения измеряемых свойств при шкалировании протосвойства

На рис. 3, *а* в одиночной ГСС протосвойство *замещается* группой из $n \geq 2$ новых несовместимых измеряемых свойств. При этом исходное гипотетическое понятие о ПрО замещается n гипотетическими понятиями, каждое из которых в качестве содержания получает одно из новых измеряемых свойств, замещающих протосвойство.

Уточняющее шкалирование. В данном случае конфигурация ПСС непосредственно следует из определения операции *ограничения понятия* [17, 18], содержание которого составляет протосвойство, и иллюстрируется рис. 3, *б*.

ПСС на рис. 3, *б* соответствует простейшему случаю, когда ограничение понятия производится с помощью добавления *одного* уточняющего свойства – нового измеряемого свойства, которое становится *единственным отличительным* свойством нового формального понятия (подпонятия исходного гипотетического понятия о ПрО). Конечно, в общем случае образуемое подпонятие может быть охарактеризовано $m > 1$ отличительными свойствами, которые, естественно, будут *взаимно обусловлены*. Тогда ПСС, соответствующий такой ситуации, приобретает *два* уровня, как показано на нижней части рис. 3, *в*.

Еще один результирующий ПСС уточняющего шкалирования протосвойства связан с тем, что исходное понятие может ограничиваться с образованием $n \geq 2$ подпонятий. Необходимые для этого n новых уточняющих измеряемых свойств будут *несовместимыми*. Поэтому третий ПСС также имеет два уровня (см. нижнюю часть рис. 3, *г*).

Наконец, учитывая возможность композиции рассмотренных выше случаев, ПСС при уточняющем шкалировании протосвойства приобретает трехуровневый вид, что иллюстрирует рис. 3, *д*.

2.2. Шкалирование необусловленного измеряемого свойства

Необусловленные измеряемые свойства образуются в СИС, например, при дизъюнктивном шкалировании протосвойства (рис. 3, *а*) или в результате уточняющего шкалирования такого свойства (рис. 3, *б*).

Дизъюнктивное шкалирование. По определению несовместимости очевидно, что при замещении одного из m свойств Н-группы n новыми измеряемыми свойствами нет необходимости создавать новые ГСС. ПСС фиксирует в данном случае расширение состава существующей Н-группы до $(m - 1) + n$ свойств (рис. 4).

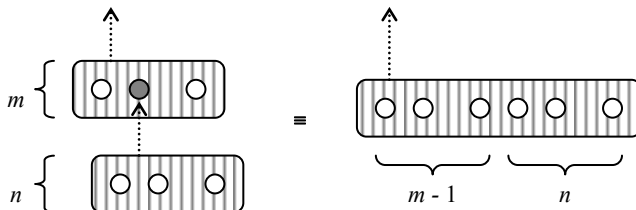


Рис. 4. Структурный паттерн сопряжения измеряемых свойств при дизъюнктивном шкалировании необусловленного измеряемого свойства

Дизъюнктивное шкалирование необусловленного измеряемого свойства, когда оно само является обуславливающим свойством (рис. 3, *б*), фактически уже

рассмотрено. Возникающий ПСС составляет легко идентифицируемую часть структурных паттернов на рис. 3, *з* и 3, *д*.

Уточняющее шкалирование. Необусловленность шкалируемого измеряемого свойства означает отсутствие каких-либо сдерживающих экзистенциальных ограничений для уточняющего шкалирования. Поэтому ПСС, возникающие при шкалировании необусловленного измеряемого свойства, эквивалентны паттернам, возникающим при уточняющем шкалировании протосвойства. Таким образом, эти ПСС составляют легко идентифицируемые части структурных паттернов, представленных на рис. 3, *б* – 3, *д*, где вместо протосвойства фигурирует необусловленное измеряемое свойство из некоторой Н-группы.

2.3. Шкалирование обусловленного измеряемого свойства

Исключим пока из рассмотрения случай, когда шкалируемое свойство *взаимно обусловлено* с другими свойствами. Тогда можно утверждать, что обусловленность измеряемого свойства свидетельствует о том, что оно ранее было подвергнуто уточняющему шкалированию (см. рис. 3, *б* – 3, *д*).

Дизъюнктивное шкалирование. Вообще говоря, в данном случае требуется заместить свойство, обусловленное *m* измеряемыми свойствами, *n* новыми измеряемыми свойствами. Это порождает *комбинаторное число* вариантов сопряжения свойств, уже «уточняющих» делимое гипотетическое понятие, отличительным свойством которого является подвергаемое дизъюнктивному шкалированию измеряемое свойство, и новых свойств, определяющих деление этого понятия. Проблема состоит в конструировании всех таких вариантов с целью выбора единственного, отвечающего совокупности определенных, предпочитаемых субъектом гипотез об изучаемой ПрО. Однако нетрудно понять, что какова бы ни была соответствующая такому предпочтению конфигурация свойств и зависимостей между ними, она может быть получена при иной, легко контролируемой *последовательности* шкалирования рассматриваемого измеряемого свойства, когда сначала выполняется дизъюнктивное шкалирование, а затем – надлежащее уточняющее шкалирование измеряемых свойств, заместивших рассматриваемое свойство.

На этом основании дизъюнктивное шкалирование обусловленного измеряемого свойства можно исключить из числа механизмов формирования СИС.

Уточняющее шкалирование. Естественно исходить из того, что к моменту такого шкалирования конструирование СИС приходило с использованием рассмотренных ПСС (см. рис. 3, *б* – 3, *д*). Это вполне определяет условия данной задачи шкалирования. Для вводимых при уточняющем шкалировании *n* новых измеряемых свойств существуют лишь следующие альтернативы:

– свойства попадут в состав отличительных свойств уже существующего гипотетического формального понятия и войдут в соответствующую ВЗО-группу (рис. 3, *в*);

– свойства пополнят множество несовместимых обусловливающих свойств и соответствующую Н-группу (рис. 3, *з*), причем с учетом пересечений доменов значений у старых и новых «уточняющих» свойств (и, следовательно, введения *дополнительных новых* «уточняющих» свойств, характеризующих такие пересечения) состав Н-группы возрастет не менее чем на *n* единиц;

– произойдет и первое, и второе, т. е. реализуется соответствующий фрагмент структурного паттерна, представленного на рис. 3, *д*. При этом количе-

ственный состав ВЗО- и Н-групп будет отвечать конкретным гипотетическим представлениям субъекта об изучаемой ПрО.

2.4. Базовые паттерны сопряжения измеряемых свойств

Анализ, проведенной в подразделах 2.1–2.3, показывает, что структура СИС во многих случаях формируется на основе всего лишь четырех базовых ПСС, приведенных на рис. 2, а – 2, г.

Рис. 5 иллюстрирует применение базовых ППС для модельной ситуации – формирования начальной СИС дачника, намерившегося изучить рынок емкостей для поливной воды.

Во-первых, дачник исходит из предположения, что объекты-емкости на рынке имеются (булевское протосвойство «Емкость»). Но фактически на первых порах представление о емкости наш исследователь сводит к ее объему, одновременно понимая, что она изготовлена из определенного материала. Это ведет к замещению протосвойства двумя взаимно обусловленными свойствами «Объем» и «Материал». Об объеме дачник судит дифференцированно: малый, средний, большой – и априори понимает, что на рынке могут существовать емкости соответствующих объемов (свойство «Объем» дизъюнктивно шкалируется). Аналогично оформляется представление о материале: в СИС вводятся свойства «Металл» и «Пластик». Но где-то наш маркетолог слышал, что емкости из пластика могут обвязываться металлическим каркасом. Поэтому свойство «Пластик» надлежащим образом уточняется. Теперь дачник может собирать сведения о емкостях у «коллег», в интернете, в магазинах «Садовод» и т. д., формируя таблицу «емкости – свойства», где последние взяты из сформированной СИС. Априори зафиксированные отношения на множестве «измеряемых» свойств емкостей – структура СИС – должны защитить его от получения в результате онтологического анализа собранных и, скорее всего, неполных и противоречивых данных такого, например, знания: «на рынке имеются металлические емкости в металлическом каркасе, объем которых одновременно и мал, и велик».

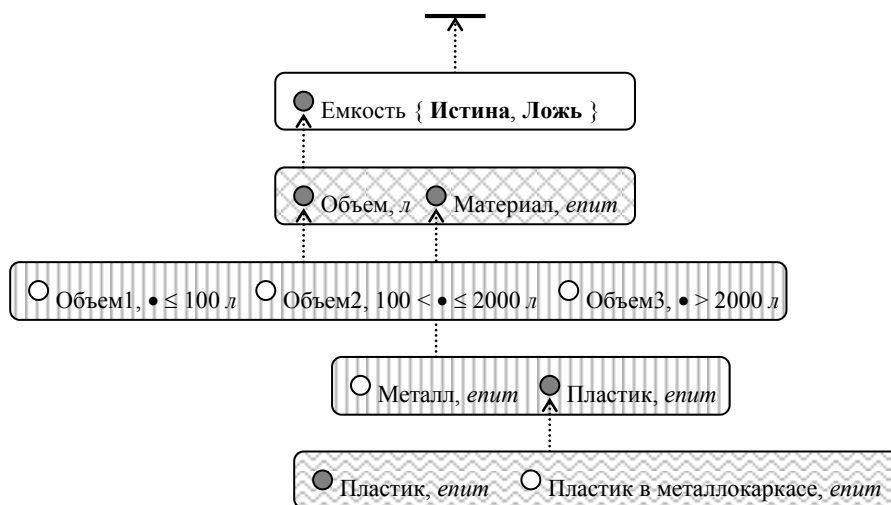


Рис. 5. Система измеряемых свойств – {Объем1, Объем2, Объем3, Металл, Пластик, Пластик в металлокаркасе} – при изучении рынка емкостей для поливной воды (епит – перечисляемый тип, или номинальная шкала значений)

3. Шкалирование измеряемого свойства, являющегося членом группы взаимно-обусловленных свойств

ВЗО-группы – часто встречающийся элемент структурной организации СИС (см. рис. 2, а; 3, в; 3, д; 4). Например, задачи классического анализа данных *фактически* по умолчанию исходят из предположения о взаимной обусловленности *всех* свойств, измеряемых у объектов изучаемой ПрО [19, 20].

Выделение части объема гипотетического формального понятия, чьи отличительные свойства составляют ВЗО-группу, вызывают специфическую проблему, определяемую *потенциальной согласованностью, когерентностью* результатов шкалирования разных измеряемых свойств, являющихся членами ВЗО-группы. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Пусть $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – множество отличительных и, следовательно, взаимно-обусловленных свойств гипотетического понятия субъекта об исследуемой ПрО, т. е. понятия

$$(\{\dots, z_1, z_2, \dots, z_n\}', \{\dots, z_1, z_2, \dots, z_n\}),$$

где многоточие «...» замещает свойства, унаследованные от более общих понятий. Тогда согласно определению формального понятия имеем

$$\{\dots, z_1, z_2, \dots, z_n\}' = \{\dots, z_1\}' = \{\dots, z_2\}' = \dots = \{\dots, z_n\}',$$

т. е. как все ВЗО-свойства вместе, так и каждое из них по отдельности выделяют в ПрО одно и то же гипотетическое множество объектов. Однако области значений у ВЗО-свойств – домены $D(z_1), D(z_2), \dots, D(z_n)$ – вообще говоря, различны (рис. 6, а).

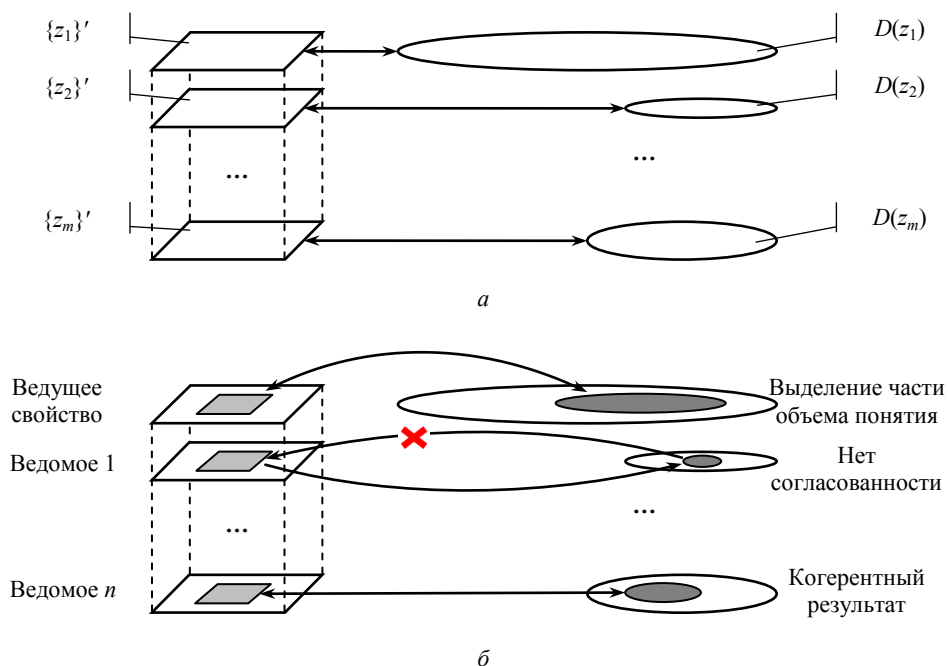


Рис. 6. Возникновение когерентности результата концептуального шкалирования члена группы взаимно обусловленных измеряемых свойств

Части объема понятия, выделенной при его делении или ограничении путем шкалирования одного из свойств ВЗО-группы («ведущего» свойства), соответствуют некоторые части доменов *остальных* («ведомых») свойств этой группы. Возникающие при этом ситуации иллюстрирует рис. 6, б.

Опираясь на определения деления и ограничения понятия, учитывая сущность реализующих эти логические операции процедур дизъюнктивного и уточняющего шкалирования, нетрудно показать, что:

– если части объема, выделяемой при уточняющем шкалировании ведомого свойства, соответствует *вполне определенная и только эта* часть домена ведомого свойства, то это означает, что данное шкалирование ведомого свойства автоматически приводит к уточняющему шкалированию рассматриваемого ведомого свойства, и наоборот – см. рис. 6, б;

– если каждой части объема, выделяемой при дизъюнктивном шкалировании ведомого свойства, соответствует *вполне определенная и только эта* часть домена ведомого свойства, то это означает, что данное шкалирование ведомого свойства автоматически приводит к дизъюнктивному шкалированию рассматриваемого ведомого свойства, и наоборот.

Из сказанного следует, что если при *уточняющем шкалировании* ВЗО-свойства субъект *не указывает* среди других ВЗО-свойств набора когерентно шкалируемых, то расширение и структуризация СИС идет по соответствующему базовому ПСС.

Иначе, когда указываются $n > 0$ когерентных ведомых ВЗО-свойств, ПСС предполагает следующее:

– все когерентно шкалируемые ВЗО-свойства замещаются группой сложно-сопряженных свойств (С-группой), включающей $2 \times (n + 1)$ измеряемых свойств, половина из которых являются новыми;

– каждое когерентно шкалируемое ВЗО-свойство в С-группе представляет *подгруппу*, включающая два свойства, где первое обусловлено вторым, и каждый по порядку член подгруппы взаимно обусловлен со всеми членами других подгрупп с таким же порядковым номером;

– связи между свойствами в С-группе достраиваются согласно правилу транзитивности обусловленности свойств.

Модельный пример применения такого шаблона приведен на рис. 7. В ВЗО-группе уточняющему шкалированию подвергнуто первое из 10 включенных в нее свойств. Свойства 3 и 9 были указаны как когерентно шкалируемые. В ВЗО-группу вложена С-группа, заместившая свойства 1, 3 и 9. В С-группе, включившей когерентно уточняемые свойства и уточняющие их новые измеряемые свойства, построены (явно) все экзистенциальные связи между свойствами.

Аналогично СИС структурируется при дизъюнктивном шкалировании ВЗО-свойства.

Когда при дизъюнктивном шкалировании ВЗО-свойства субъект не подтверждает наличие других когерентно замещаемых свойств в ВЗО-группе, то расширение и структуризация СИС идет по базовому ПСС при замещении свойства набором несовместимых свойств.

Если дизъюнктивное шкалирование ВЗО-свойства предполагает его замещение $m > 1$ несовместимыми свойствами и указываются $n > 0$ когерентных ведомых ВЗО-свойств, то ПСС предполагает следующее:

- все когерентно шкалируемые ВЗО-свойства замещаются С-группой, включающей $m \times n$ новых измеряемых свойств;
- каждое когерентно шкалируемое ВЗО-свойство в С-группе представляет подгруппа, включающая m несовместимых свойств, и каждый по порядку член подгруппы взаимно обусловлен со всеми членами других подгрупп с таким же порядковым номером;
- связи между свойствами в С-группе достраиваются согласно правилу транзитивности несовместимости относительно обусловленности.

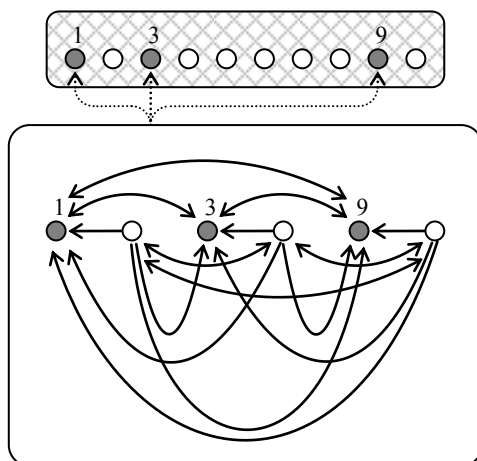


Рис. 7. Пример структуризации системы измеряемых свойств при расширении гипотетического понимания исследуемой предметной области путем уточняющего когерентного шкалирования взаимно обусловленных измеряемых свойств

Иллюстрирующий пример приведен на рис. 8. Материал взят из габитоскопии – теории портретной идентификации людей, которая широко используется в криминалистике [21]. Габитоскопия исследует различные аспекты внешности людей, устанавливая набор признаков, пригодных для идентификации. В наших терминах у объекта-человека с целью его портретной идентификации «измеряется» обширная совокупность разнообразно шкалированных ВЗО-свойств. Рис. 8 описывает структуризацию фрагмента соответствующей СИС, касающегося так называемых *собственных* составляющих внешности человека, и демонстрирует реализацию как базового, так и специального ПСС при дизъюнктивном шкалировании ВЗО-свойств.

К сожалению, рассмотренные ПСС не являются исчерпывающими для теоретически возможных случаев шкалирования ВЗО-свойств. Достаточно обратить внимание на то, что шкалируемые свойства при применении этих шаблонов изымаются из ВЗО-группы, а следовательно, в следующем акте шкалирования база для анализа когерентности оказывается некорректно суженной. В некотором смысле «одновременное» шкалирование нескольких свойств в ВЗО-группе теоретически не исключает «интерференцию» результатов такого шкалирования. Единственным способом поддержать субъекта, который так изощренно выстраивает гипотетическое представление об исследуемой ПрО, будут средства «ручного» конструирования необходимой С-группы свойств, замещающих все вовлеченные в шкалирование свойства ВЗО-группы.

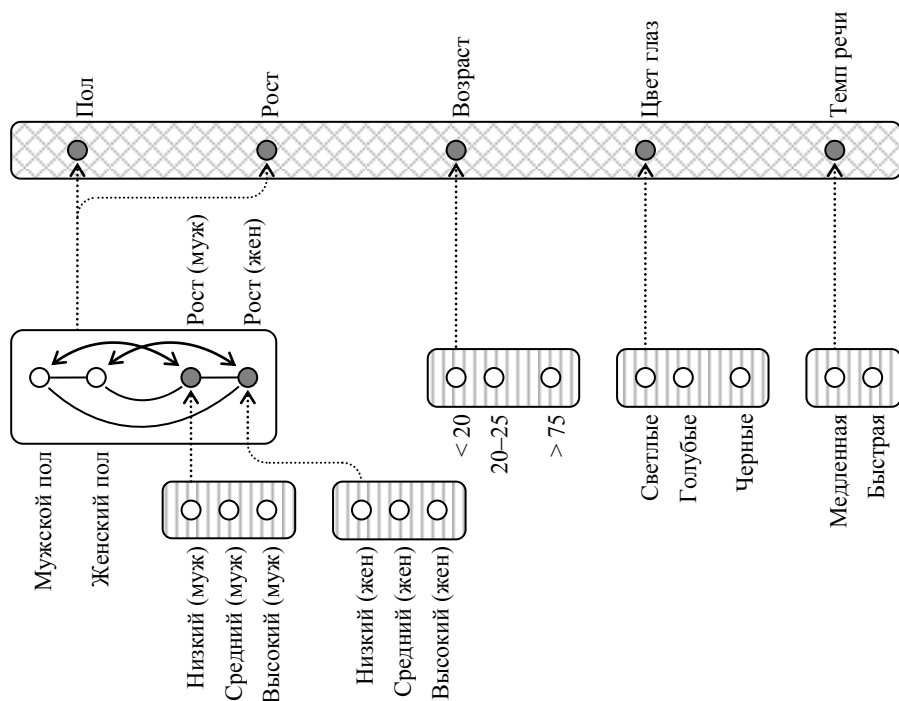


Рис.8. Практический пример структуризации системы измеряемых свойств при расширении гипотетического понимания исследуемой предметной области путем дизъюнктивного шкалирования по базовому и специальному шаблону

Заключение

В целом предложенная концепция системы измеряемых свойств (СИС) в онтологическом анализе данных (ОАД) обобщает формальные схемы описания ограничений существования свойств (ОСС), ранее построенные в работах авторов, и по-прежнему базируется на элементарных ограничениях сосуществования любых сущностей – *несовместимости* и *обусловленности* (*нейтральность*, *безразличие* не рассматривается как ограничение, но структурно всегда проявляется; наша модель в этом смысле также не является исключением).

Количество выявленных паттернов структурной организации СИС *невелико* (это следствие независимости результата концептуального шкалирования измеряемого свойства от «предыстории» появления свойства в СИС; определенное отклонение от этого возможно лишь при шкалировании взаимно обусловленных свойств), генерацию соответствующих структур легко алгоритмизировать. Поэтому на этой основе возможна *эффективная компьютерная поддержка* субъекта, формирующего СИС для онтологического исследования.

Тем не менее представленное в данной статье видение ОСС в ОАД как многоуровневой и ограниченной правилами формирования уровней СИС существенно сложнее использовавшегося авторами ранее. Однако очевидно, что это усложнение не повлечет пересмотр эвристики, предложенный авторами для формирования корректного однозначного формального контекста на основе неполной и противоречивой информации о ПрО [3]:

- выбор порога доверия к исходным данным *произволен*;

– соответствующий порогу и в общем случае недопустимый состав свойств каждого объекта искомого однозначного формального контекста следует последовательно сокращать за счет *отсечения* на каждом шаге свойства, нарушающего ОСС;

– механизм отсечения состоит в *локальном ужесточении* порога доверия в пределах каждой группы сопряженных свойств в СИС, когда основным критерием выбора измеряемого свойства для отсечения служит *минимальное ужесточение* выбранного порога доверия.

Разумеется, алгоритм, реализующий эвристику, при новом видении ОСС должен быть существенно модифицирован. Прежде всего задачей разработки и исследования здесь должны стать его рекурсивные составляющие, предназначенные для обработки многоуровневой структуры СИС.

Благодарности

Статья подготовлена по материалам научных исследований в рамках субсидированного государственного задания Института проблем управления сложными системами РАН на НИР по теме «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Божко А.Н., Толпаров А.Ч.* Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью. – Центр «Методолог». <http://www.metodolog.ru/00562/00562.html> (дата обращения 10.09.2018).
2. *Криони Н.К., Гвоздев В.Е., Ильясов Б.Г., Бежаева О.Я., Блинова Д.В.* Элементы системной инженерии. Технологии формирования требований к аппаратно-программным комплексам на основе экспертно-статистических методов. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 295 с.
3. *Боргест Н.М.* Распознавание образов при создании артефактов как метафора и как прикладные технологии онтологии проектирования // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5. – № 1 (15). – С. 19–29.
4. *Половинкин А.И.* Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
5. *Смирнов С.В.* Онтологический анализ предметных областей моделирования // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2001. – Т. 3. – № 1. – С. 62–70.
6. *Смирнов С.В.* Построение онтологий предметных областей со структурными отношениями на основе анализа формальных понятий // Знания – онтологии – теории: Материалы Всероссийской конференции с международным участием (3–5 октября 2011 г., Новосибирск, Россия). Т. 2. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2011. – С. 103–112.
7. *Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В.* Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6. – № 3(21). – С. 317–339.
8. *Быкова В.В., Катаева А.В.* Сжатое представление строгих ассоциативных правил в анализе данных // Программные продукты и системы. – 2017. – Т. 30. – № 2. – С. 187–195.
9. *Ignatov D.I.* Introduction to Formal Concept Analysis and Its Applications in Information Retrieval and Related Fields. In: P. Braslavski, N. Karpov, M. Worrning, Y. Volkovich, D.I. Ignatov (Eds.): Information Retrieval. Revised Selected Papers 8th Russian Summer School, RuSSIR 2014. Springer International Publishing, 2015. P. 42–141.
10. *Agrawal R., Imielinski T., Swami A.* Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases // Proc. of the 1993 ACM-SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data. P. 207–216.
11. *Oficerov V.P., Smirnov S.V.* Fuzzy Formal Concept Analysis in the construction of ontologies // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7. – № 4(26). – С. 487–495.
12. *Lammari N., Metais E.* Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // Data & Knowledge Engineering. 2004. Vol. 48(2). P. 155–176.
13. *Пронина В.А., Шитилина Л.Б.* Использование отношений между атрибутами для построения онтологии предметной области // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 27–32.

14. *Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В.* Модель ограничений существования свойств в онтологическом моделировании // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XIX Международной конференции. – Самара: Офорт, 2017. – С. 468–473.
15. *Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В.* Фрактальность ограничений сосуществования свойств в задачах машинного обучения // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» ИТНТ-2018. Самара: Новая техника, 2018. – С. 2512–2518.
16. *Ganter B., Wille R.* Conceptual scaling // In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. New York Springer-Verlag, 1989. P. 139–167.
17. *Бочаров В.А., Маркин В.И.* Основы логики. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 296 с.
18. *Ивин А.А., Никифоров А.Л.* Словарь по логике. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 384 с.
19. *Барсемян А.А., Курьянов М.С., Холод И.И., Тесс М.Д., Елизаров С.И.* Анализ данных и процессов. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
20. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1999. – 270 с.
21. *Зинин А.М., Подволоцкий И.Н.* Габитоскопия и портретная экспертиза. – М.: Норма, 2018. – 288 с.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2018 г.

STRUCTURE OF THE SYSTEM OF MEASURABLE PROPERTIES FOR OBJECTS EXPOSED TO MULTIDIMENSIONAL OBSERVATION AND EXPERIMENTS

D.E. Samoylov^{1,2}, V.A. Semenova^{2,3}, S.V. Smirnov²

¹ Samara University

34, Moskovskoye sh., Samara, 443086, Russian Federation

² Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences

61, Sadovaya st., 443020, Samara, Russian Federation

³ Samara State Region Academiya (Nayanova)

196, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443001, Russian Federation

Abstract. *The is devoted to ontological data analysis. This is a complex of models and methods designed to extract the formal ontology of the studied knowledge domain from the initial empirical material. Such ontologies are describing the knowledge domain of the aggregate of concepts and relationships. According to observational data and experiments, the initial empirical materials are characterized by incompleteness and inconsistency, which are conditioned by the realities of the accumulation of empirical information. This leads to the fact that the required for ontology's building formal context — the correspondence “objects-properties” – can be previously presented only within the framework of some multi-valued logic. It needs to be approximated in ordinary binary logic, since effective methods for the derivation of formal concepts are developed only for unambiguous (binary) formal contexts. In order to solve this problem correctly, in the general case it is necessary to know the properties existence constraints of the objects in the studied knowledge domain. But from where can be a priori known such subtle information about the knowledge domain that is only being studied? The main idea of the authors is that this*

Dmitry E. Samoylov, Student.

Valentina A. Semenova, Postgraduate Student, Younger Scientific Researcher.

Sergey V. Smirnov (Dr. Sci. (Techn.)), Chief Research Scientist.

knowledge is a product of a priori hypothesizing of the study's subject. Choosing certain properties to be measured from objects of multidimensional observation and experiments, the subject actually formulates hypothetical concepts about the studied knowledge domain, and using a fundamental cognitive procedure - conceptual scaling of measurable properties - he develops these hypothetical ideas. With such a formation of a system of measurable properties, well-defined properties existence constraints that determine the structure of this system are fixed. Only part of the subject's hypotheses is confirmed a posteriori, and, therefore, certain properties existence constraints are true. The paper identifies and analyzes the fundamental patterns of the structural organization of the system of measurable properties, and thus proposes an exhaustive model of properties existence constraints in the ontological data analysis.

Keywords: system of measurable properties, properties existence constraints, pattern of the structural organization, ontological data analysis, formal context.

REFERENCES

1. *Bozhko A.N., Tolparov A. Ch.* Strukturnyy sintez na elementah s ogranichennoy sochetaemost' u [Structural synthesis on elements with limited compatibility] <http://www.metodolog.ru/00562/00562.html> (accessed September 10, 2018). (In Russian).
2. *Krioni N.K., Gvozdev V.E., Ilyasov B.G., Bezhaeva O.Ya., Blinova D.V.* Elementy sistemnoy inzhenerii. Tehnologii formirovaniya trebovaniy k apparatno-programmnyim kompleksam na osnove ekspertno-statisticheskikh metodov [Elements of system engineering. Technologies for the formation of requirements for hardware and software systems based on expert-statistical methods]. *Innovatsionnoe mashinostroeniye*, 2017. 295 p. (In Russian).
3. *Borgest N.M.* Pattern recognition in designing artifacts is as metaphor and as an applied technology of ontology of designing // *Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]*. 2015. Vol. 5, no. 1(15). P. 19–29. (In Russian).
4. *Polovinkin A.I.* Osnovy inzhenernogo tvorchestva [Fundamentals of engineering creativity]. *Mashinostroeniye*, 1988. 368 p. (In Russian).
5. *Smirnov S.V.* Ontological analysis of knowledge domains of modeling // *Izv. Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2001, vol. 3, no.1. P. 62–70. (In Russian).
6. *Smirnov S.V.* Building ontologies of knowledge domains with structural relationships based on the formal concept analysis. // *Znaniya – Ontologii – Teorii*. Vol. 2. Novosibirsk, 2011. P. 103–112. (In Russian).
7. *Samoylov D.E., Semenova V.A., Smirnov S.V.* Incomplete data analysis for building formal ontologies // *Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]*. 2016. Vol. 6, no. 3 (21). P. 317–339. (In Russian).
8. *Bykova V.V., Kataeva A.V.* A contracted representation of strong associative rules in data analysis. *Programmnye produkty i sistemy [Software & Systems]*. 2017. Vol. 30, no. 2. P. 187–195. (In Russian).
9. *Ignatov D.I.* Introduction to Formal Concept Analysis and Its Applications in Information Retrieval and Related Fields. In: P. Braslavski, N. Karpov, M. Worrning, Y. Volkovich, D.I. Ignatov (Eds.): *Information Retrieval. Revised Selected Papers 8th Russian Summer School, RuSSIR 2014*. Springer International Publishing, 2015. P. 42–141.
10. *Agrawal R., Imielinski T., Swami A.* Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases // *Proc. of the 1993 ACM-SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. P. 207–216.
11. *Oficerov V.P., Smirnov S.V.* Fuzzy Formal Concept Analysis in the construction of ontologies // *Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]*. 2017. Vol. 7, no. 4(26). P. 487–495. (In Russian).
12. *Lammari N., Metals E.* Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // *Data & Knowledge Engineering*. 2004. Vol. 48(2). P. 155–176.
13. *Pronina V.A., Shipilina L.B.* Using relationships between attributes to build an ontology of knowledge domain // *Problemy upravleniya [Control Sciences]*. 2009, no. 1. P. 27–32. (In Russian).
14. *Samoylov D.E., Semenova V.A., Smirnov S.V.* Model of properties existence constraints in ontological modeling // *Proceedings of International Conference on Complex Systems: Control and Modeling Problems*. Samara, 2017. P. 468–473. (In Russian).
15. *Samoylov D.E., Semenova V.A., Smirnov S.V.* Fractality of the object's properties existence constraints in machine learning // *Proceedings of International Conference on Information technologies and nanotechnologies*. Samara, 2018. P. 2512–2518. (In Russian).

16. *Ganter B., Wille R.* Conceptual scaling // In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. New York Springer-Verlag, 1989. P. 139–167.
17. *Bocharov V.A., Markin V.I.* Osnovy logiki [The basics of logic]. INFRA-M, 1998. 296 p. (In Russian).
18. *Ivin A.A., Nikiforov A.L.* Slovar' po logike [Dictionary of logic]. Gumanit. izd. tsentr VLADOS, 1997. 384 p. (In Russian).
19. *Barsegyan A.A., Kupriyanov M.S., Holod I.I., Tess M.D., Yelizarov S.I.* Analiz dannyh i protsessov [Data and process analysis]. 3-e izd., pererab. i dop. SPb.: BHV-Peterburg, 2009. 512 p. (In Russian).
20. *Zagoruyko N.G.* Prikladnyye metody analiza dannyh i znaniy [Applied methods of data and knowledge analysis]. Novosibirsk: Sobolev Institute of Mathematics, 1999. 270 p. (In Russian).
21. *Zinin A.M., Podvolotskiy I.N.* Gabitoskopiya i portretnaya ekspertiza [Habitoscopy and portrait expertise]. Norma, 2018. 288 p. (In Russian).

УДК 62-631.2:665.65

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОПОДГОТОВКИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

**В.К. Тян¹, Р.Ю. Абушаев¹, Т.Е. Артеева², С.А. Гулина¹,
Р.Г. Нутфуллин², Н.Д. Цыганенко², Л.П. Шелудько¹**

¹Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

²Транснефть Сибирь, Сургутское управление магистральных нефтепроводов
Россия, 628404, г. Сургут, ул. Григория Кукуевичского, 14

³Газпром Трансгаз Югорск, Комсомольское ЛПУМГ
Россия, 628260, г. Югорск, ул. Мира, 15

⁴Газпром Трансгаз Сургут, Сургутское ЛПУМГ
Россия, 628422, г. Сургут, ул. Индустриальная, 51

Аннотация. *С применением комплексов автоматизированного программного проектирования рассмотрены вопросы оптимизации конструкции и рабочего процесса находящейся в эксплуатации воздухозаборной камеры (ВЗК). В ходе работы в системе автоматизированного проектирования Компас-3D была создана 3D-модель основания и корпуса ВЗК. В библиотеке АРМ FEM проведен прочностной расчет основания и корпуса ВЗК, определены участки, испытывающие наибольшее напряженно-деформированное состояние. Намечены пути для корректирования геометрии основания ВЗК. Для модернизированной ВЗК в САД-пакете SolidWorks построена трехмерная твердотельная модель и с помощью расчетного САЕ – пакет STAR-ССМ+, выполнен газодинамический расчет турбулентных течений. Прделанная работа позволила повысить надежность и эффективность рабочего процесса модернизированной ВЗК.*

Ключевые слова: *система автоматизированного проектирования, 3D-модель, комплексные воздухоочистительные устройства.*

Для повышения надежности и эффективности газотранспортного оборудования в процессе эксплуатации необходимо решать задачи, связанные с усовершенствованием и модернизацией имеющегося оборудования. На сегодняшний день широко применяются комплексы автоматизированного программного проектирования, которые позволяют создавать модели сложного оборудования,

Владимир Константинович Тян (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт».

Рамиль Юнесович Абушаев, магистрант.

Татьяна Евгеньевна Артеева, хим. лаборант, «Транснефть Сибирь».

Светлана Анатольевна Гулина (к.т.н.), доцент кафедры «Трубопроводный транспорт».

Рустам Газинурович Нутфуллин, инженер по ремонту, «Газпром Трансгаз Югорск».

Никита Дмитриевич Цыганенко, машинист ТК, «Газпром Трансгаз Сургут».

Леонид Павлович Шелудько (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Управление и системный анализ в теплоэнергетике».

определять его прочностные и режимные характеристики и сопоставлять получаемые данные с эксплуатационными замерами. На магистральных газопроводах более 80 % газоперекачивающих агрегатов (ГПА) имеют газотурбинный привод центробежных нагнетателей природного газа. Данные ГПА оборудуются воздухозаборной камерой (ВЗК) с комплексными воздухоочистительными устройствами. Перед подачей на вход осевого компрессора газотурбинного привода атмосферный воздух необходимо очистить от пыли для предохранения проточной части двигателя от механического износа (эрозии), образования отложений и, как следствие, снижения ресурса лопаток осевого компрессора, ухудшения характеристик (КПД, мощности) компрессора и газотурбинной установки (ГТУ) в целом.

Воздухозаборные устройства должны обеспечить подачу необходимого количества очищенного воздуха с минимальными потерями давления, исключить попадание в тракт двигателя атмосферных осадков, обеспечить шумоизоляцию (для глушения шума, возникающего от работы осевого компрессора), и иметь байпасный клапан в случае увеличения разряжения при обмерзании фильтров или их засорении [1]. Современные комплексные воздухоочистительные устройства оборудуют двухступенчатой системой очистки [2]. В качестве первой ступени устанавливаются фильтры с элементами циклонно-инерционного типа, а в качестве второй ступени – фильтры, изготовленные из специальной ткани, что позволяет добиться большой степени очистки, простоты эксплуатации и стабильности их параметров в процессе работы. Воздухозаборное устройство оборудуется еще системой подогрева всасываемого циклового воздуха, а также системой антиобледенения.

На сегодняшний день ГПА типа ГТК-10-4 эксплуатируются воздухозаборные камеры (ВЗК), в которых не предусмотрены фильтрующие элементы для тонкой очистки циклового воздуха. Это влечет повышенное загрязнение проточной части осевого компрессора и снижение КПД ГТУ. Следовательно, возникает задача разработки воздухозаборной камеры с установленными фильтрами тонкой очистки, с противообледенительной системой (ПОС) и с сохранением конструкции подвода подогретого воздуха из помещения аппаратов воздушного охлаждения (АВО) масла. Окна для подвода атмосферного воздуха расположены слева и справа ВЗК, режим работы изменятся при помощи жалюзи. После блока фильтрующих кассет предусмотрена установка штатных шумоглушителей.

На первом этапе строится геометрическая модель ВЗК в системе автоматизированного проектирования Компас-3D [3]. Воздухозаборная камера представляет объект, сочетающий в себе твердые элементы заданной геометрической формы и набор поверхностей. Процесс построения 3D-модели основан на создании элементарных геометрических примитивов, из которых собран каркас реальной воздухозаборной камеры: уголки $75 \times 75 \times 7$, $63 \times 63 \times 5$ и $50 \times 50 \times 5$, швеллер 10Э, лист стальной $1250 \times 2500 \times 3$. Модель каркаса воздухозаборной камеры и далее модель самой ВЗК представлены на рис. 1 а, б.

Созданная 3D-модель ВЗК содержит полное описание физических свойств реальной воздухозаборной камеры ГТК 10-4 (объем, масса, моменты инерции) и дает возможность работы в виртуальном 3D-пространстве. Построенная 3D-модель каркаса ВЗК рассчитана на прочность в библиотеке АРМ FEM системы автоматизированного проектирования Компас-3D. Для обшитого каркаса ВЗК проведено генерирование сеточной структуры с заданным размером элементов структуры и числом ячеек $\approx 1,2$ млн. Граничным условием является давление

разрядки на каждую стенку ВЗК, которое эмитирует режим разрядки в ВЗК при работе ГПА.

По полученным результатам можно сделать вывод, что каркас ВЗК выдержит разрядку в 800 Па с минимальным коэффициентом по запасу текучести, равным 12,5.

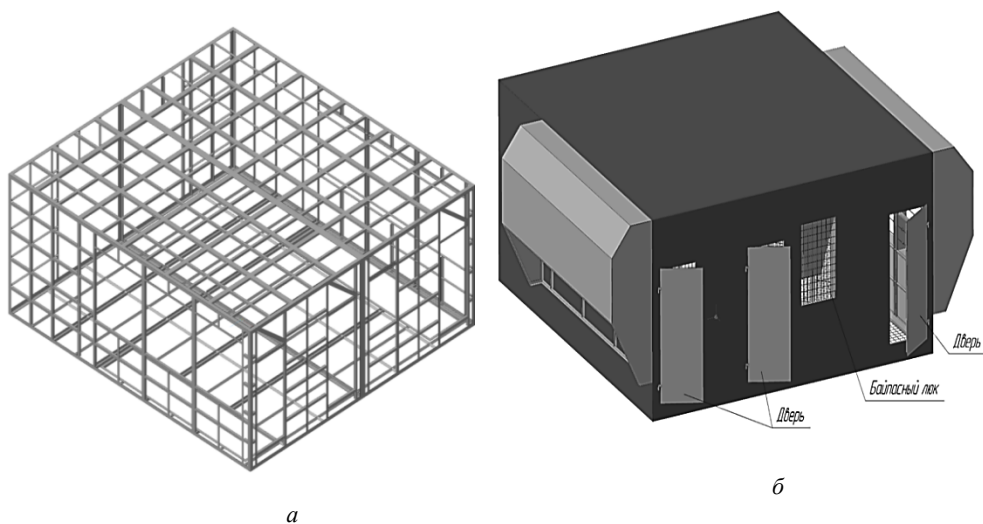


Рис. 1. 3D-модель каркаса (а) и воздухозаборной камеры (б)

Для ВЗК основанием является укрытие маслоохладителей (АВО масла), поэтому необходимо провести расчет на прочность самого основания по аналогичному алгоритму. Построена геометрическая 3D-модель существующего основания с расположенной на нем воздухозаборной камерой (рис. 2). К расчетной модели основания была приложена эквивалентная нагрузка, соответствующая массе модернизированной ВЗК и равная 14 000 кг. На рис. 3 изображен каркас ВЗК по результатам прочностного расчета. При возросшей на основание нагрузке (в ВЗК установлены фильтрующие элементы) коэффициент запаса по текучести составил 8,68, но с учетом климатических факторов (дополнительной пиковой снеговой нагрузки) необходимо каркас основания усилить.

В дальнейшем в программном комплексе Компас-3D можно будет корректировать геометрию основания и ВЗК, компоновку в нем оборудования путем добавления (удаления) элементов либо изменения характерных параметров блоков.

По рекомендациям авторов [4, 5, 6] для технических характеристик газоперекачивающего агрегата ГТК 10-4 был проведен гидравлический расчет воздухозаборной камеры для определения числа стандартных фильтрующих элементов ФГ 3(4)052 592×592×48 ГОСТ Р 51251-99.

По рекомендациям [4, 6] с учетом площади, через которую производится забор воздуха, и массового расхода воздуха через двигатель определена площадь сечения фильтрующего элемента и требуемое число фильтрующих кассет, которое составило 89,2 штуки. Для достижения оптимальной удельной нагрузки и массового расхода через фильтр число фильтрующих кассет принято равным 100 шт. На рис. 4 изображена компоновка фильтрующих кассет в ВЗК. Фильтрующие кассеты расположены в 20 рядов (5 штук в ряду по высоте) с углом установки между рядами 60°.

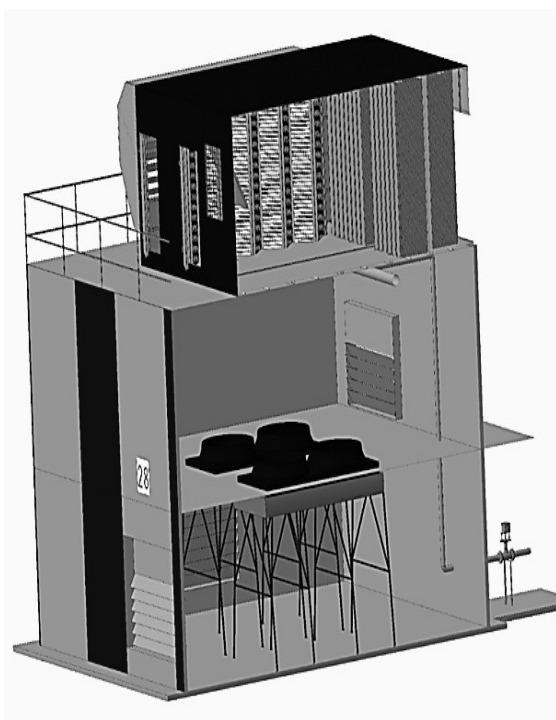


Рис. 2. Геометрическая модель ВЗК и основания (помещение АВО масла)



Рис. 3. Относительная деформация каркаса основания

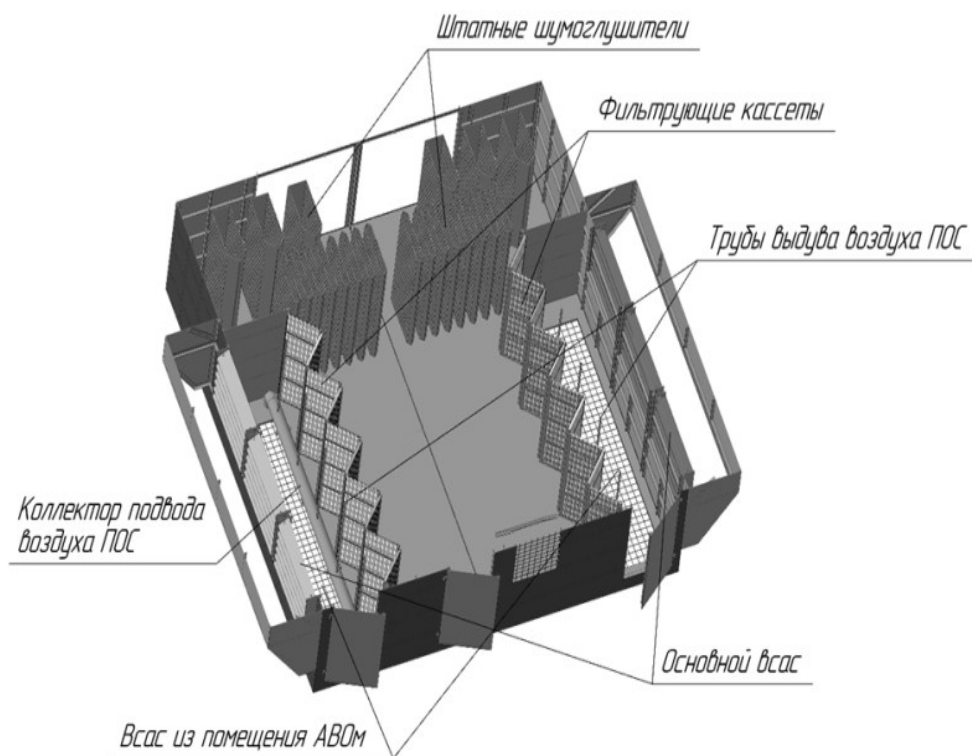


Рис. 4. Компонировка элементов ВЗК

При эксплуатации ГПА на фильтрующих элементах необходимо контролировать перепад давления и при увеличении его выше установленной нормы проводить очистку фильтров. На следующем этапе возникла задача определения сопротивления модернизированной ВЗК путем моделирования течения воздуха в камере методом вычислительной газодинамики. Для проведения расчета в САД-пакете SolidWorks была построена трехмерная твердотельная модель ВЗК [7]. Геометрическая модель импортирована в расчетный САЕ-пакет STAR-CCM+, который позволяет выполнить газодинамический расчет турбулентных течений. В газодинамическом расчете решаются уже заданные в математическом аппарате САД-пакета SolidWorks STAR-CCM+ уравнения неразрывности

$$\frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0$$

и уравнения движения:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_x V_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_x V_z) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_y) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y V_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_y V_z) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_z) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y V_z) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_z V_z) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial z}\right)$$

где V_x, V_y, V_z – проекции скорости потока, м/с;

P – давление воздуха, Па;

ρ – плотность воздуха кг/м³,

μ – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

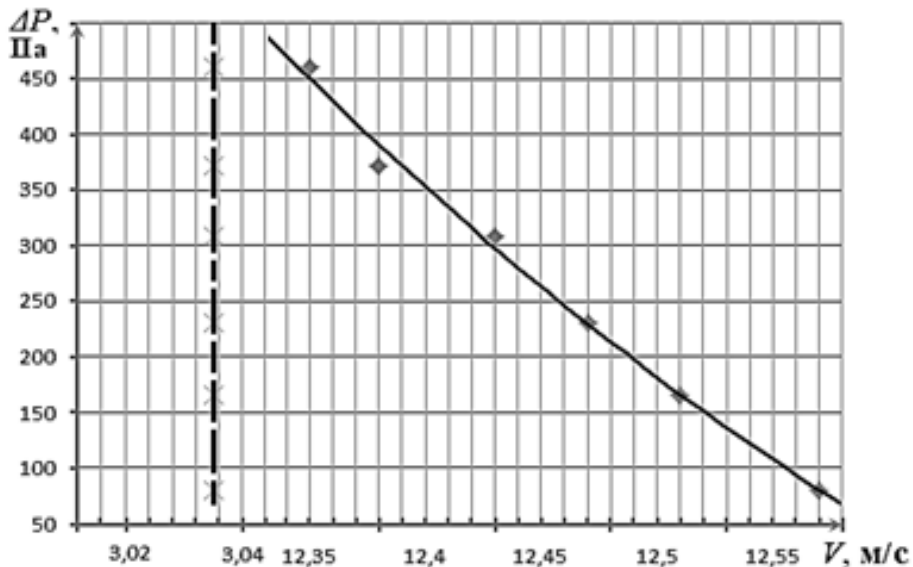


Рис. 5. Изменение скоростей потока ВЗК:
 - - - скорость на входе в ВЗК; — скорость потока на выходе

нормативов. Характер распределения полей скоростей и давления в установленных фильтрах свидетельствует о том, что они не имеют зон застоя и не являются источниками турбулентности потока.

В зимний период (октябрь – май) работы ГПА для предотвращения обледенения фильтров и проточной части осевого компрессора предусмотрена установка противообледенительной системы (ПОС). Планируемая компоновка ПОС в разрезе представлена на рис. 7, а. Спроектированный коллектор ПОС с диаметром $D = 100$ мм (рис. 7, б) для подогрева воздуха присоединяется к имеющимся отводам от трубопроводов циклового воздуха после регенератора.

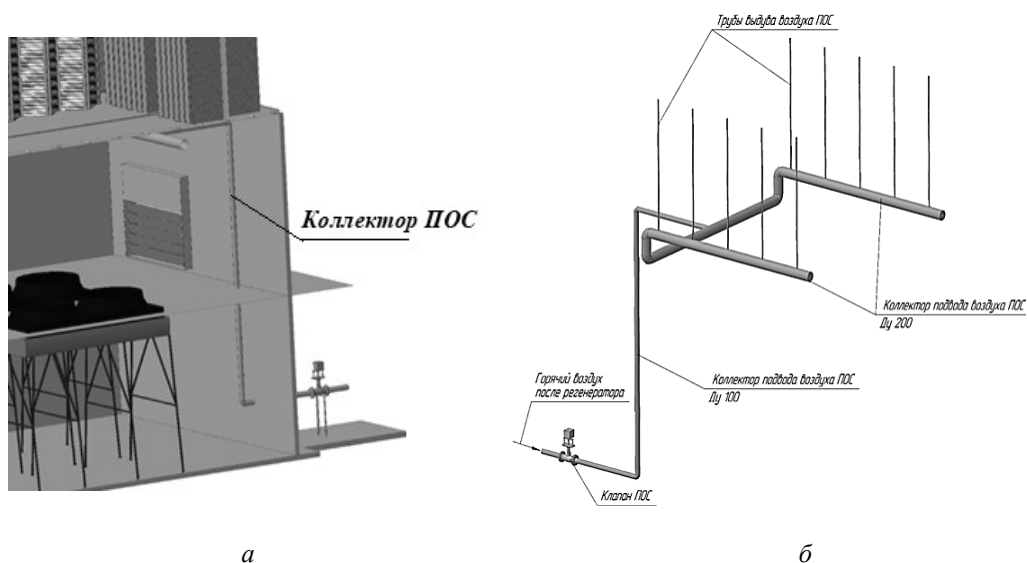


Рис. 7. Геометрическая 3D-модель коллектора ПОС

Противообледенительная система будет подключена к уже имеющейся системе обогрева циклового воздуха посредством трубопровода с диаметром $D = 100$ мм и регулирующей арматуры. На коллекторе устанавливаются отсекающая задвижка и регулирующий клапан. Отобранный горячий воздух в коллекторе с диаметром $D = 200$ мм делится на два потока с диаметром $D = 250$ мм (рис. 7, б) и далее выдувается через 200 отверстий диаметром $D = 7$ мм, расположенных на 10 вертикальных трубах перед фильтрующими кассетами. Для управления расходом рабочего тела используется регулирующий односедельный клапан (модель 25нж947нж) с электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ). Управление противообледенительной системой производится с помощью датчиков влажности, температуры окружающего воздуха и температуры на входе осевого компрессора. Сигналы от датчиков поступают на преобразователь и далее на штатную систему автоматического управления (САУ) ГПА. САУ сравнивает полученные значения со значениями, включенными в алгоритм управления ПОС компрессора, и при необходимости дает сигнал на изменение положения регулирующего клапана подачи теплого воздуха.

ПОС включается в работу при температуре наружного воздуха $t_x = 0$ °С. Расход горячего воздуха через одно отверстие составляет 0,005 кг/с (100 отв. на коллектор выдува), температура воздуха после регенератора 400 °С (по эксплуатационным данным). Требуемая температура нагрева воздуха в ВЗК $t_{н.тр} = 5-7$ °С

достаточна для предотвращения образования льда. Максимальный расход воздуха G_{max} на обогрев через трубопровод при полностью открытом регулирующем клапане (РК) определен по зависимости, рекомендуемой авторами [8, 9] с учетом данных [10, 11, 12], и составил 3,8 кг кг/с.

$$G_{max} = c \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\left(\frac{kM}{ZRT}\right) \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

где S – площадь сечения, м²;
 P – давление горячего воздуха, Па;
 R – универсальная газовая постоянная, Дж/кгК;
 c – расходный коэффициент РК;
 z – коэффициент сжимаемости;
 M – молярная масса воздуха, кг/кмоль;
 k – показатель адиабаты воздуха.

Температура нагрева воздуха в ВЗК рассчитывалась по уравнению теплового баланса [13, 14]

$$G_{zv} c_{pzv} \rho_{zv} T_{zv} + G_x c_{px} \rho_x T_x = G_n c_{pn} \rho_n T_{n.расч}$$

и при минимальной температуре воздуха на входе в компрессор $t_x = 0$ °С составила $t_{n.расч} = 7,8$ °С. Следовательно, диаметры трубопроводов ПОС и количество горячего воздуха обеспечивают температуру в ВЗК более 5 °С. Потери мощности ГПА при работе ПОС на данном режиме составляют не более 1,2 %. Это не является существенным, так как при снижении температуры окружающего воздуха мощность ГТУ пропорционально увеличивается [15]. Полученные данные для ПОС могут быть использованы для проведения термогазодинамического расчета с помощью соответствующего программного комплекса с целью оптимизации размещения отверстий выдува горячего воздуха на коллекторе ПОС.

Проведенный газодинамический расчет воздухозаборной камеры методами вычислительной газовой динамики, основанный на численном решении системы уравнений Навье – Стокса и фундаментальных законах сохранения энергии, с минимальными допущениями дает результаты, близкие к эксплуатационным. Оптимизация конструкции воздухозаборной камеры с использованием программных пакетов для прочностных расчетов ВЗК и противообледенительной системы позволила без построения натурного объекта провести модернизацию существующего неэффективного воздухозаборного устройства. Для повышения надежности и эффективности технологических процессов компрессорных станций магистральных газопроводов возможно использовать разработанную методику моделирования воздухозаборных устройств и для других газоперекачивающих агрегатов с целью получения исчерпывающей информации обо всех параметрах во всех точках рассматриваемого объема ВЗК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО Газпром 2-2.1-226-2008. Стандарт организации. Технические требования к воздухоочистительным устройствам газоперекачивающих агрегатов.
2. *Ольховский Г.Г.* Эффективное оборудование и новые технологии – в российскую тепловую энергетику // Сб. докладов. Под общ. ред. Г.Г. Ольховского. – М.: АООТ «ВТИ», 2001. – 231 с.

3. *Бочков А.Л.* Трехмерное моделирование в системе Компас-3D (практическое руководство). – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 80 с.
4. *Калашиников М.П.* Вентиляция общественных зданий: Учеб. пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. – 160 с.
5. *Козаченко А.Н., Никишин Б.Н., Поршаков Б.П.* Энергетика трубопроводного транспорта: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. – 400 с.
6. *Черемин А.В., Синецын Ю.Н., Корнеев В.И., Шуровский В.А., Степанов Г.С.* Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных и газоперекачивающих агрегатов. – М.: ВНИИГАЗ, 1999. – 28 с.
7. *Сотников Н.Н., Козарь Д.М.* Основы моделирования в SolidWorks: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 129 с.
8. *Жохов В.Л., Леонов С.Н., Голов П.В.* Входной контроль качества воздушных фильтров для КБОУ ГТУ в ПАО «МОСЭНЕРГО» // Газотурбинные технологии: специализированный информационно-аналитический журнал. – 2016. – № 7. – С. 14–18.
9. *Самарин О.Д.* О режиме движения воздуха в стальных воздуховодах // СОК. – 2006. – № 7. – С. 90–91.
10. *Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Гурьева Л.В.* Оптимизация теплообменных процессов и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
11. *Ривкин С.Л.* Термодинамические свойства газов: Справочник. В 2 т. – Энергоиздат, 1987. – 288 с.
12. Справочник по теплоснабжению и вентиляции: В 2 кн. / Р.В. Щекин. 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будивельник, 1976. – Кн. 1. 414 с. – Кн. 2. 351 с.
13. *Гулина С.А., Шелудько Л.П.* Моделирование термодинамического цикла ГТД, работающего на газообразном топливе произвольного состава // Сборник трудов XXIX международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях ММТТ – 29». Т. 12. – Саратов, 2016. – С. 67–73.
14. *Пиралишвили Ш.А., Каляева Н.А., Веретенников С.В.* Термодинамика. Технические приложения. – Рыбинск: РГАТА, 2008. – 230 с.
15. *Ерофеев В.Л., Семенов П.Д., Пряхин А.С.* Теплотехника. – М.: Академкнига, 2006. – 456 с.
16. *Гулина С.А., Горюнова И.Ю.* Газотурбинные установки: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 104 с.
17. *Гулина С.А., Фомичева М.С.* Использование программного комплекса Ansys для оптимизации системы вентиляции // Труды X Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения». – Туапсе, 2015. – Т. 1. – С. 355–358.
18. *Гулина С.А., Горюнова И.Ю.* Эффективность снижения нерегенерируемых потоков теплоты в окружающую среду через ограждение рабочего пространства высокотемпературных теплотехнологических установок // Сборник статей к VI Международной научно-практической конференции «Культура, наука, образование: проблемы и перспективы». – Нижневартовск, 2017. – Ч. II. – С. 120–124.
19. *Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M.* Thermal design and optimization. New York: J. Wiley, 1996.

Статья поступила в редакцию 2 июля 2018 г.

MODELLING AND OPTIMIZATION OF AIRPREPARATION SYSTEM FOR THE GAZ PUMPING UNIT

V. Tyan¹, R. Abushaev¹, T. Arteeva², S. Gulina¹, R. Nutfullin³, N. Tsyganenko⁴, L. Sheludko¹

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

¹ Gazprom Transgaz Surgut
51, Industriialnaya st., Surgut, Surgutsky LPUMG, 628422, Russian Federation

² Transneft Siberia-Surgutneftegas trunk oil pipelines
14, Grigory Kukuyevitskogo st., Surgut 628404, Russian Federation

³ Gazprom Transgaz Yugorsk -Komsomolskii LPUMG,
15, Myra st., Yogorsk, 628260, Russian Federation

⁴ Gazprom Transgaz Surgut-Surgutsky LPUMG,
51, Industriialnaya st., Surgut, 628422, Russian Federation

Annotation. *Wide application of the automated program design complexes led to consideration of design and working process of the airtanking camera optimization. In FEM automated workplace library the strength calculation of AC base and case was carried out, the parts, with the stress-strain state are defined.*

Keywords: *the computer-aided engineering system, 3D - model, complex air-cleaning devices.*

REFERENCES

1. HUNDRED Gazprom 2-2.1-226-2008 Standard of the organization performance specification to air-cleaning devices of gas-distributing units.
2. *Olkhovskiy G.* An efficient inventory and new technologies – in the Russian thermal power engineering. C6. reports. Under a general edition of G.G. Olkhovskiy. – M.: OJSC VTI, 2001. – 231 p.
3. *Bochkov A.* Three-dimensional model operation in the Compass-3D system (the practical management). – SPb: St.Petersburg State University of ITMO, 2007. – 80 p.
4. *Kalashnikov M.* Ventilation of public buildings: Manual. – Ulan-Ude: VSGTU publishing house, 2005. – 160 p.
5. *Kozachenko A.N., Nikishin B.N., Porshakov B.P.* Power of pipeline transport: Manual. – M.: SUE Publishing House Neft i gaz Rguneft and gas of I.M. Gubkin, 2001. – 400 pages.
6. *Cheremin A., Sinitsyn Yu., Korneev V., Shurovskiy V., Stepanov G.* A study guide on carrying out heattechnical and gasdynamic calculations at tests of gas-turbine and gas-distributing units. VNIIGAZ, 1999. – 28 p.
7. *Sotnikov N.* Model operation bases in SolidWorks: manual / N. Sotnikov, D. Kozar; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2013. – 129 p.
8. Entrance quality control of air filters for KVOU GTU in PJSC MOSENERGO / V.L. Zhokhov, S.N. Leonov, P.V. Golov // Gas-turbine technologies: specialized information and analytical magazine. – 2016. – № 7. – Page 14–18.

Vladimer K. Tyan (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Ramil Y. Abushaev, Graduate Student.

Tatyana E. Arteeva, chemical lab assistant.

Svetlana A. Gulina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

Rustam G. Nutfullin, repair engineer.

Nikita D. Tsyganenko, TK engine operator.

Leonid P. Sheludko (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

9. *Samarin O.* About the mode of driving of air in steel air ducts // JUICE, 2006, No. 7, page 90–91.
10. *Kafarov V., Meshalkin V., Guryeva L.* Optimization of heat exchange processes and systems. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 192 p.
11. *Rivkin S.* Thermodynamic properties of gases. Reference book: in 2 t. – M.: Energoizdat, 1987. – 288 pages.
12. Reference book on heat supply and ventilation: In 2 prineses / R.V. Shchekin. the 4th, reslave. and additional Kiev: Budivel'nik, 1976 Prineses 1. 414 pages of Prince of 2. – 351 pages.
13. Simplification of thermodynamic calculations of thermal cars by use of model of ideal gases of / S. Gulina, M. Orlov // Messenger of the Samara state space university. – 2009. – No. 3 (chast3). – Page 28–34.
14. *Piralishvili Sh., Kalyaeva N., Veretennikov S.* Termodinamik. Technical applications. Rybinsk: RGATA, 2008. – 230 p.
15. *Erofeyev V., Semyonov P., Pryakhin A.* Heating engineer. – M.: IKTs of Akademkniga, 2006. – 456 p.
16. *Shchurovsky V., Zaytsev Yu.* Gas-turbine gas-distributing units. – M.: Subsoil, 1994. – 253 pages.
17. Use of the program Ansys complex for optimization of system of ventilation / S. Gulina, M. Fomicheva. Works X of the International scientific and practical Tuapse conference «Ashirovsky Readings» 2015. Collection of articles T. 1 of 2015. With 355–358.
18. *Bejan A., Tsatsaronics G., Moran M.* Thermal design and optimization. New York: J. Wiley, 1996.