

**Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН**

УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

***Выпуск 83
Ноябрь 2020***

**СБОРНИК
ТРУДОВ**

ISSN 1819-2467

Регистрационный номер Эл. №ФС77-44158 от 09 марта 2011 г.

Москва – 2020

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова

**УПРАВЛЕНИЕ
БОЛЬШИМИ
СИСТЕМАМИ**

СБОРНИК ТРУДОВ

Выпуск 83

Москва – 2020

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академики РАН: Васильев С.Н., Емельянов С.В., Куржанский А.Б., Федосов Е.А., Черноусько Ф.Л.; члены-корреспонденты РАН: Желтов С.Ю., Каляев И.А., Пархоменко П.П., Попков Ю.С.; д-ра техн. наук: Кузнецов О.П., Кульба В.В., Лотоцкий В.А., Павлов Б.В., Поляк Б.Т., Рутковский В.Ю.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: член-корр. РАН Новиков Д.А. **Зам. главного редактора:** д-р физ.-мат. наук Губко М.В. **Отв. секретарь:** канд. техн. наук Калимулина Э.Ю. **Редактор:** канд. техн. наук Квинто Я.И.

Д-ра техн. наук: проф. Алескеров Ф.Т. (ГУ ВШЭ), проф. Алчинов А.И. (ИПУ РАН), проф. Андриевский Б.Р. (ИПМ РАН), проф. Афанасьев В.Н. (МИЭМ), проф. Бахтадзе Н.Н. (ИПУ РАН), проф. Бурков В.Н. (ИПУ РАН), проф. Вишневский В.М. (ИПУ РАН), Галаев А.А. (ИПУ РАН), д-р физ.-мат. наук проф. Ерешко Ф.И. (ВЦ РАН), д-ра техн. наук: Зоркальцев В.И. (ИСЭМ СО РАН), проф. Калашников А.О. (ИПУ РАН), проф. Калянов Г.Н. (ГУ ВШЭ), проф. Каравай М.Ф. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Ключков В.В. (ИПУ РАН), д-р техн. наук Коргин Н.А. (ИПУ РАН), д-ра физ.-мат. наук: проф. Кушнер А.Г., проф. Лазарев А.А. (МФТИ), д-ра техн. наук: проф. Лебедев В.Г. (ИПУ РАН), проф. Мандель А.С. (ИПУ РАН), д-р биол. наук проф. Михальский А.И., д-р физ.-мат. наук, проф. Непейвода Н.Н. (ИПС РАН), д-р экон. наук, проф. Нижегородцев Р.М. (ИПУ РАН), д-р техн. наук, проф. Орлов А.И. (МГТУ), д-ра физ.-мат. наук: проф. Рапопорт Л.Б. (ИПУ РАН), проф. Райгородский А.М. (МГУ), проф. Савватеев А.В. (РЭШ), д-ра техн. наук: проф. Самуйлов К.Е. (РУДН), проф. Сидельников Ю.В. (МАИ), Совлуков А.С. (ИПУ РАН), д-ра физ.-мат. наук: проф. Соловьев С.Ю. (МГУ), проф. Угольницкий Г.А. (ЮФУ), проф. Уткин В.А. (ИПУ РАН), проф. Хоботов Е.Н. (МГТУ), д-ра физ.-мат. наук: доцент Чеботарев П.Ю. (ИПУ РАН), проф. Чхартишвили А.Г. (ИПУ РАН), проф. Щербаков П.С. (ИПУ РАН).

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДАКЦИОННЫЕ СОВЕТЫ

Арзамас – д-р физ.-мат. наук проф. Пакшин П.В. **Волгоград** – д-ра физ.-мат. наук: проф. Воронин А.А., проф. Лосев А.Г. (ВолГУ); **Воронеж** – д-р техн. наук, проф. Баркалов С.А., д-р физ.-мат. наук, проф. Головинский П.А. (ВГАСУ), д-р техн. наук, проф. Подвальный С.Л. (ВГТУ); **Иркутск** – академик РАН Бычков И.В., д-р физ.-мат. наук, проф. Лакеев А.В. (ИДСТУ СО РАН); **Казань** – д-р физ.-мат. наук, проф. Маликов А.И., д-р техн. наук, проф. Сиразетдинов Р.Т. (КГТУ-КАИ); **Липецк** – д-ра техн. наук: проф. Погодаев А.К., Сараев П.В. (ЛГТУ); **Самара** – д-ра экон. наук: проф. Богатырев В.Д., проф. Гераськин М.И., д-р техн. наук, проф. Засканов В.Г. (СГАУ); **Петрозаводск** – д-р физ.-мат. наук, проф. Мазалов В.В., д-р техн. наук, доц. Печников А.А. (ИПМИ КарНЦ РАН); **Санкт-Петербург** – д-р физ.-мат. наук: проф. Петросян Л.А. (СПбГУ), д-р техн. наук проф. Фуртат И.Б. (ИПМ РАН); **Старый Оскол** – д-р техн. наук, проф. Еременко Ю.И. (СТИ).

Адрес редакции: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

Адрес в интернете: ubs.mtas.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Анализ и синтез систем управления

Еналеев А.К.

Согласованные механизмы управления в активных системах 5

Управление в социально-экономических системах

Сидельников Ю.В.

Разработка и реализация подхода к корректному описанию экспертного креативного метода.
Ч. 1. Разработка подхода 29

**Клименко Э.Ю., Неизвестный С.И.,
Шешуков М.А.**

Социально-методические проблемы формирования компетенций специалистов управления автоматизированными системами цифровой экономики 53

Управление техническими системами и технологическими процессами

**Цвиркун А.Д., Резчиков А.Ф., Кушников В.А.,
Иващенко В.А., Филимонюк Л.Ю.,
Богомолов А.С., Хамутова М. В.**

Управление процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях 75

СОГЛАСОВАННЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ В АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Еналеев А. К.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Представлены предыстория и последние результаты выполненных автором исследований согласованных механизмов управления в активных системах: оптимальность правильных механизмов при полной информированности центра; оптимальность принципа открытого управления, оптимальность согласованных механизмов при неполной информированности центра и сообщении активными элементами ему информации; построение оптимальных согласованных механизмов в сетевых активных системах; согласование разбиений сетей; механизмы управления в многоэлементных активных системах с дуальной сетевой структурой связей. В первых частях статьи сведены воедино методы согласованного управления, опубликованные в различное время, а в последней части описаны новые результаты построения и анализа согласованных механизмов для дуальных сетевых структур, основывающиеся на результатах предыдущих исследований. Дуальные связи агентов определяются совокупностью связей между множествами допустимых значений стратегий агентов и совокупностью связей в целевых функциях агентов.

Ключевые слова: организационная система, равновесное состояние, управление, координация, правдивые данные, планирование, согласованное стимулирование, оптимизация.

1. Введение

Идеи и принципы согласованности в теории активных систем, в частности принцип открытого управления, были сформулированы в пионерских работах В.Н. Буркова в 1971 г. и были в последующем аккумулированы им в монографии [1].

Основываясь на этих подходах и результатах, начиная с 1978 года параллельно с развитием теории игр с непротивоположными интересами [14] начался новый этап в развитии теории активных систем. Первые исследования согласованных механизмов (СМ) проводилось в работах [3–6, 12, 15] преимущественно для простейших моделей структур активных систем типа «центр – активный элемент», либо структур «верного» типа

¹ Анвер Касимович Еналеев, к.т.н., с.н.с. (anverena@mail.ru).

с несколькими независимыми агентами – активными элементами (АЭ). Эти исследования послужили в дальнейшем фундаментом для исследования более сложных моделей.

Можно условно выделить следующую последовательность решения задач.

1. Построение и исследование оптимальных механизмов в условиях полной информированности центра об АЭ. Доказательство оптимальности СМ [3–6, 12, 15].

2. Исследование оптимальных процедур планирования при неполной информированности центра об АЭ и сообщении активными элементами центру правдивой информации. Доказательство оптимальности принципа открытого управления [2].

3. Исследование оптимальности механизмов для случая вероятностной неопределенности в активной системе [8, 9, 15, 22, 23].

4. Построение оптимальных механизмов, включающих процедуру планирования и систему стимулирования, в условиях неполной информированности центра. Определение условий оптимальности СМ и построение оптимальных СМ для простейших активных систем «центр – активный элемент» [7, 16–18].

5. Обобщение результатов п. 4 на некоторые случаи многоагентных систем: системы со «слабо связанными АЭ»; системы с сетевой структурой «технологических» связей, описываемых графом без контуров; двухканальные активные системы [10, 19–21, 29, 30, 32].

6. Применение разработанных методов для задачи согласования границ разбиений в сетевых структурах [24–26, 33].

7. Исследования механизмов управления в многоэлементных активных системах с дуальной сетевой структурой связей [27, 28, 34].

Рассмотрим модели, постановки и некоторые основные результаты решения этих задач.

2. Полная информированность центра

Содержательно задача ставится как получение максимального гарантированного результата (значения целевой функции)

центра на множестве рациональных выборов стратегий АЭ. При этом стратегией центра является назначение плана и системы стимулирования АЭ. Определены условия на выбор согласованных планов и системы стимулирования, при которых выполнение плана является рациональной стратегией АЭ. Определены условия оптимальности согласованных планов, выполнение которых обеспечивает максимальное значение целевой функции центра. В случае, когда система стимулирования задается как функция штрафа за отклонение стратегии АЭ от назначенного центром плана, достаточные условия выполнения плана, когда множество всех выполнимых планов совпадает с множеством всех рациональных стратегий АЭ (условие «максимального согласования») и оптимальности, определяются неравенством «треугольника», которому должна удовлетворять функция штрафа. Условие выполнения этого неравенства принято называть условием «сильного согласования».

Эти результаты позволили ставить и решить ряд задач синтеза оптимальных функций стимулирования при наличии ограничений сверху и снизу на величину целевой функции АЭ и на «показатель максимального роста» функции штрафов.

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом: определить механизм μ^* такой, что

$$K(\mu^*) = \max_{\mu \in M} K(\mu),$$

где $\mu = \{\pi(\cdot), f(\cdot, \cdot)\}$ – механизм; $x = \pi(\cdot)$ – процедура планирования, $f(\cdot, \cdot) = f(x, y)$ – система стимулирования (целевая функция АЭ), x – план, y – состояние (стратегия) АЭ, $x \in X$, $y \in Y$, M – множество допустимых механизмов, $K(\mu) = \min_{y \in Z(\mu)} \Phi(x, y)$,

$\Phi(x, y)$ – целевая функция центра,

$$Z(\mu) = \begin{cases} \{x\}, & \text{если } x \in \operatorname{Arg} \max_{y \in Y} f(x, y), \\ \operatorname{Arg} \max_{y \in Y} f(x, y, r) & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad - \text{ множество рациональных стратегий АЭ.}$$

Вообще говоря, при некоторых системах стимулирования АЭ даже для оптимальных механизмов рациональный выбор агента может не совпадать с планом. В связи с этим возникает

вопрос. Каким условиям должен удовлетворять оптимальный механизм, при которых рациональный выбор агента совпадает с планом? Такие механизмы в [3, 12, 15] было принято называть правильными.

Эта задача формулируется следующим образом: определить условия, при которых

$$(1) \quad K(\mu^*) = \max_{\mu \in M} K(\mu) = \max_{\mu \in M \cap M_{\text{пр}}} K(\mu),$$

где $M_{\text{пр}}$ – множество правильных механизмов.

Решение этой задачи содержится в следующих утверждениях.

Утверждение. Достаточным условием выполнения (1) является выполнение условия максимальной согласованности

$$(2) \quad P = Z,$$

где $Z = \bigcup_{x \in X} Z(x, f)$, $P = \{x \in X \mid f(x, y) \leq f(x, x), \forall y \in Y\}$.

Теорема 1. Для максимальной согласованности (2) достаточно сильной согласованности, определяемой выполнением неравенства

$$f(\pi, \pi) + f(x, y) \geq f(x, \pi) + f(\pi, y)$$

для $\forall \pi, y \in Z, \forall x \in X$.

В случае когда целевая функция АЭ представима в виде

$$f(x, y) = h(y) + \sigma(x) - \chi(x, y),$$

где $\chi(x, y)$ – функция штрафов АЭ за невыполнения плана, условие последней теоремы приобретает вид неравенства «треугольника»

$$\chi(x, y) \leq \chi(x, \pi) + \chi(\pi, y).$$

Эти утверждения позволили получить решения задач выбора оптимальных функций стимулирования.

Отметим здесь лишь следующее утверждение.

Пусть задана сильно согласованная целевая функция $f^*(x, y)$.

Определим множество $F^*(r)$ допустимых целевых функций АЭ $f(x, y)$ следующего вида:

$$F^*(r) = \{f(x, y) \mid f(x, y) - f(x, y') \leq f^*(y, y) - f^*(y, y')\},$$

где $x, y' \in X, y \in P^*$.

Здесь $P^*(r) = \{x \in X \mid f^*(x, y) \leq f^*(x, x) \forall y \in Y\}$ – множество согласованных планов для целевой функции АЭ $f^*(x, y)$.

Теорема 2. Сильно согласованная целевая функция $f^*(x, y)$ оптимальна на множестве F^* .

Следствие. Функция штрафа $\chi^*(x, y)$ оптимальна на множестве функций штрафов

$$\Omega = \left\{ \chi(x, y) \mid \chi(x, \hat{y}) - \chi(x, y) \leq \chi^*(y, \hat{y}), \text{ где } x, y, \hat{y} \in Y \right\}.$$

3. Согласованное планирование при неполной информированности центра об АЭ

В [2] определены условия оптимальности процедуры открытого управления и необходимые и достаточные условия сообщения достоверной информации, развивающие результаты исследования законов открытого управления в [1].

В [2] показано, что оптимальная процедура планирования содержится в множестве процедур открытого управления.

К процедурам открытого управления относятся процедуры планирования, назначаемый план согласно которым удовлетворяет условиям «совершенного согласования». В этом случае АЭ получает план, который максимизирует его функцию предпочтения на некотором выбранном центре множестве планов, не зависящем от сообщаемой агентом информации. Отметим, что это множество может зависеть от сообщений других АЭ, если их в активной системе несколько.

Представим формальное описание условий совершенного согласования.

Пусть в системе имеется n АЭ и их целевые функции $f(x_i, y_i, r_i)$ зависят от параметров r_i , которые известны АЭ, но неизвестны центру. Центр вычисляет планы $x_i = \pi_i(\bar{\rho})$ для АЭ на основании заранее выбранных процедур $\pi_i(\cdot)$ и информации $\bar{\rho} = \{\rho_i, i = 1, \dots, n\}$, сообщаемой активными элементами центра о параметрах $\bar{r} = \{r_i, i = 1, \dots, n\}$.

Задача заключается в выборе процедур $\pi_i(\cdot)$ таких, чтобы АЭ было выгодно сообщать в центр достоверную информацию, $\bar{\rho} = \bar{r}$.

В [2] показано, что при рациональном поведении АЭ необходимым и достаточным условием сообщения достоверной ин-

формации в активных системах является выполнение для соответствующих процедур планирования $\pi_i^{\text{PC}}(\bar{y}^i, \bar{\rho})$ соотношений «совершенного согласования»:

$$\forall \bar{\rho} \in A: \varphi_i(\pi_i^{\text{PC}}(\bar{\rho}), \rho_i, \bar{y}^i) = \max_{x \in X_i^{\text{PC}}(\bar{\rho}_{-i}) \cap Y_i} \varphi_i(x, \rho_i),$$

где $\varphi_i(x_i, r_i) = \max_{y_i \in Y_i} f_i(x_i, y_i, r_i)$ – функция предпочтения АЭ, $X_i^{\text{PC}}(\bar{\rho}_{-i})$ – подбираемые центром компактные множества планов, не зависящее от сообщения i -го агента ρ_i .

В система со связанными АЭ подбор допустимых множеств $X_i^{\text{PC}}(\bar{\rho}_{-i})$ представляет собой в общем случае сложную задачу, – особенно подбор таких множеств, для которых выполнение условий совершенного согласования обеспечивает оптимум целевой функции центра.

Для случая одного АЭ доказана оптимальность принципа открытого управления, основанного на условии совершенного согласования.

Для случая нескольких АЭ, связанных общими ограничениями решены отдельные задачи. Обзор исследований в этой области и ряд результатов изложены в [13, 31]. Описанные в [1, 2] условия совершенного согласования для моделей активных систем аналогичны условиям не искажения сообщаемой агентами информации в [36].

4. Оптимальный механизм при вероятностной неопределенности в активной системе

Задача заключается в определении функции поощрения АЭ, когда центру известна только функция распределения неизвестного параметра, характеризующего функцию затрат АЭ. Формальная постановка задачи имеет следующий вид:

$$K(\sigma^*) \geq \sup_{0 \leq \sigma(\cdot) \leq g} \int_{r^a}^{r^b} \inf_{y(r) \in \tilde{Y}(r)} \Phi(y(r), \sigma(y(r))) dF(r),$$

$$y(r) \in \tilde{Y}(r) = \text{Arg max}_{z \in Y(r)} (\sigma(z) - \zeta(z, r)).$$

Здесь $\sigma(\cdot)$ – дважды кусочно-дифференцируемые функции; $F(r)$ – абсолютно непрерывная функция распределения на $[r^H, r^B]$, функция затрат $\zeta(y, r)$ определена в $Y(r) = [0, \bar{y}(r))$, где $\bar{y}(r)$ – неубывающая функция, принимающая значения на числовой оси; $\zeta(y, r)$ дважды непрерывно дифференцируема по любой из переменных, $\zeta(0, r) = 0$, $\dot{\zeta}_y(y, r) > 0$, $\dot{\zeta}_r(y, r) < 0$, $\ddot{\zeta}_{yy}(y, r) > 0$, $\ddot{\zeta}_{yr}(y, r) < 0$ при $y > 0, r > 0$. Целевая функция центра имеет вид $\Phi(y, \sigma(y)) = \varphi(y) - \alpha \sigma(y)$, $\varphi(y)$ – неубывающая дифференцируемая функция.

Эта задача сведена к задаче

$$\int_0^{\infty} [F(\tilde{r}(y, u)) - 1][\dot{\varphi}(y) - \alpha u] dy \rightarrow \min_u,$$

где $u(y) = \dot{\sigma}(y)$, $\tilde{r}(y, u)$ определяется из решения уравнения $\dot{\zeta}_y(y, r) = u$ относительно u , $0 \leq \sigma(y) \leq g$.

Для решения этой задачи можно использовать принцип максимума Понтрягина. Гамильтониан имеет вид $H(y, u, \lambda) = [1 - F(\tilde{r}(y, u))][\dot{\varphi}(y) - \alpha u] - \lambda u$. Оптимальная функция $u(y, \lambda)$ определяется из условия максимума $H(y, u, \lambda)$ по u ,

где параметр определяется из условия $\int_0^{\infty} u(y, \lambda) dy = g$,

$$\text{а } \sigma(y) = \int_0^y u(t, \lambda(g)) dt.$$

Рассмотренная модель активной системы предполагает, что в момент выбора стратегии у АЭ знает реализовавшееся значение случайного параметра r . При этом выбор стратегии у соответствует совершенно согласованному плану для АЭ, если бы у назначалось центром для АЭ в качестве плана.

Первые результаты по построению оптимального механизма были сначала описаны в [15] для случая линейной функции затрат вида $\zeta(z, r) = z/r$, затем в [22] – для кусочно-линейных функций. В [11] эти результаты представлены в виде решения одной из задач теории контрактов [35].

Отметим, что в работах [8, 9] рассматривалась также другая постановка задачи со случайными воздействиями, когда они накладываются на состояние АЭ после выбора им своей стратегии.

5. Оптимальные механизмы в условиях интервальной неполной информированности центра

Рассмотрим систему, состоящую из центра и одного АЭ. Пусть целевая функция центра $\Phi(x, y, r)$ и АЭ $f(x, y, r) = \sigma(y) - \chi(x, y) - \zeta(y, r)$ зависят от параметра r , значение которого активному элементу известно. Центру известны только границы отрезка $A = [r^H, r^B]$, которому принадлежит значение этого параметра. Здесь $\sigma(y)$ – функция поощрения, $\chi(x, y)$ – функция штрафов, $\zeta(y, r)$ – функция затрат, удовлетворяющая отмеченным выше свойствам.

Предполагается, что центр устанавливает механизм $\mu = (\pi(\cdot), \sigma(\cdot), \chi(\cdot, \cdot))$, зная $A = [r^H, r^B]$, допустимые границы переменных состояния и плана $Y = X = [x^H, x^B]$, функцию затрат $\zeta(\cdot, \cdot)$ и свою целевую функцию.

Определим показатель эффективности механизма

$$K(\mu) = \inf_{r \in A} [\inf_{\rho \in R(r)} \Psi(\pi(\rho), g, r) / \Psi_B(r)],$$

где $\Psi(x, g, r) = \inf_{y \in Z(x, r)} \Phi(x, y, g, r)$, $\Psi_B(r)$ – весовая функция,

$$Z(x, r) = \begin{cases} \{x\}, & \text{если } x \in \text{Arg max}_{y \in Y} f(x, y, r), \\ \text{Arg max}_{y \in Y} f(x, y, r) & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$R(r) = \begin{cases} \{r\}, & \text{если } r \in \text{Arg max}_{\rho \in A} \varphi(\pi(\rho), r), \\ \text{Arg max}_{\rho \in A} \varphi(\pi(\rho), r) & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Задача синтеза оптимального механизма μ^* :

$$K(\mu^*) = \sup_{\mu \in M} K(\mu) - \varepsilon.$$

Механизм правильный, если $Z(x, r) = \{x\}$, $R(r) = \{r\}$.

Для правильного механизма

$$K(\mu_{\text{пр}}) = \min_{r \in A} [\Phi(\pi(r), \pi(r), r) / \Psi_B(r)].$$

Задача оптимальности правильных механизмов. Охарактеризовать множества допустимых механизмов M , для которых выполняется

$$K(\mu^*) = \max_{\mu \in M} K(\mu) = \max_{\mu \in M \cap M_{\text{пр}}} K(\mu).$$

Рассмотрим множество допустимых механизмов M , определяемое ограничениями

$$0 \leq \sigma(\cdot) \leq g,$$

$$\chi(x, y') - \chi(x, y) \leq u_\chi(y, y'), \quad x, y, y' \in Y,$$

где $u_\chi(x, y)$ удовлетворяет неравенству «треугольника».

Теорема 3. Оптимальный механизм функционирования μ^* определяется следующими выражениями:

$$K(\mu^*) = \gamma^*,$$

$$x = \pi_{\gamma^*}^*(r) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } r^H \leq r \leq \beta, \\ q_1(\gamma^*, r), & \text{если } \beta < r \leq r^B, \end{cases}$$

$$\chi^*(x, y) = u_\chi(x, y),$$

$$\sigma^*(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x^H \leq x \leq \alpha, \\ \int_\alpha^x \zeta'_t(t, \tilde{r}_{\gamma^*}^*(t)) dt & \text{при } \alpha < x \leq \pi_{\gamma^*}^*(r^B), \\ \bar{g} & \text{при } \pi_{\gamma^*}^*(r^B) < x \leq x^B. \end{cases}$$

$$\bar{g} = \int_\alpha^{\pi_{\gamma^*}^*(r^B)} \zeta'_t(t, \tilde{r}_{\gamma^*}^*(t)) dt \leq g.$$

Параметры α, β и функции $\bar{q}_1(\gamma, r), \tilde{r}_{\gamma}^*(t)$ вычисляются, используя следующие утверждения и обозначения [16, 17].

Неравенство $\Phi(x, x, r) \geq \gamma \Psi_B(r)$ представимо в виде неравенства $q_1(\gamma, r) \leq x \leq q_2(\gamma, r)$, где $q_1(\gamma, r)$ и $q_2(\gamma, r)$ – непрерывные функции, если $\Phi(x, x, r)$ строго квазивогнута по x . Рассмотрим функции

$$\overline{q_1}(\gamma, r) = \max_{r^H \leq p \leq r} q_1(\gamma, p), \quad \underline{q_2}(\gamma, r) = \min_{r \leq p \leq r^G} q_2^P(\gamma, p),$$

где $q_2^P(\gamma, p) = \min\{q_2(\gamma, p), x^P(p)\}$.

$\beta = r^B$, если $\alpha \geq \overline{q_1}(\gamma, r^B)$, либо β определяется как решение уравнения $\overline{q_1}(\gamma, \beta) = \alpha$, если $\alpha < \overline{q_1}(\gamma, r^B)$. $P(r) = [x^H, x^P(r)]$.

Полученные результаты обобщены и адаптированы для построения механизмов управления в двухканальных активных системах [29, 30].

На основе результатов, полученных для случая одного АЭ, построены правильные механизмы и определены условия их оптимальности в многоагентных системах со «слабо связанными» АЭ [19], а также в системах с сетевой структурой «технологических связей» [10, 20, 21, 31], описываемых графом без контуров. Слабая связанность АЭ понимается как взаимозависимость АЭ через общий фонд поощрения G , когда $\sum_{i=1}^n g_i(\bar{p}) \leq G$.

6. Применение методов для задачи согласования границ разбиений в сетевых структурах

Рассмотрена задача согласования границ полигонов управления в крупномасштабных сетевых структурах между различными типами разбиений сети на полигоны. Определяются условия, обеспечивающих меньшие затраты на управление при совпадении границ полигонов одного типа разбиения с границами полигонов другого типа разбиения. Такого рода задачи актуальны при исследовании задач управления движением и обслуживанием инфраструктуры в транспортных сетях.

Управление функционированием распределенной системы, состоящей из разнотипных агентов, расположенных в вершинах и ребрах крупномасштабной сети, затруднительно без разбиения этой сети на комплексы полигонов управления. Примером такой системы является транспортная сеть, содержащая в своих вершинах и ребрах разнотипные объекты, такие как вокзалы, средства подвижного состава, автоматизированные системы регулирования движения, станции обслуживания движущихся средств,

службы по эксплуатации дорог и др. В транспортной сети разбиение на полигоны может раздельно осуществляться как для системы управления движением, так и для системы обслуживания инфраструктуры транспортной сети. Таким образом, существуют несколько типов разбиений сети, по крайней мере, как в вышеописанном примере, два типа. Аналогичные примеры разбиения сети на разные разбиения можно привести и в других областях, например, энергетике, связи и др.

Разбиение сети на полигоны порождает над ней иерархическую структуру управления. В свою очередь, формирование иерархической структуры управления приводит к появлению интересов у элементов этой структуры. Соответственно, эффективное функционирование такой системы управления требует решения задач согласования интересов и действий элементов иерархической структуры. Максимальная степень согласования разбиений соответствует заинтересованности элементов иерархии в полном совпадении границ разбиений различных типов.

Основную идею подхода к согласованию проиллюстрируем для двух типов разбиений. Пусть за первое разбиение отвечает некоторая структура в организационной системе, которую будем отождествлять с центром, а за второе разбиение отвечает структура, которую будем отождествлять с АЭ. Центр выбирает разбиение первого типа на сети, АЭ выбирает разбиение второго. Вводится понятие целевых функций Ц и АЭ, исходя из того, что у каждого из них имеются выгода от выбора того или иного разбиения и потери от несовпадения разбиений первого и второго типов. Потери АЭ можно интерпретировать как штрафы за несовпадение состояния (разбиение, выбранное АЭ) от плана (разбиение, установленное центром). В [24] вводится формальное описание этих потерь. Теперь задача свелась к построению согласованного механизма, рассмотренного выше, в разделе 1.

7. Механизмы управления в многоэлементных активных системах с дуальной сетевой структурой связей

Рассмотрим ориентированный граф $G = (I, A)$ без контуров, где I обозначает множество, состоящее из n вершин, A – множество дуг. Для графа без контуров возможна такая нумерация

вершин, при которой все дуги $(i, j) \in A$ удовлетворяют следующему свойству: $j > i$, если i – номер вершины, из которой выходит дуга, а j – номер вершины, в которую входит дуга. В [11] показана возможность такой нумерации вершин для графа без контуров; такая нумерация названа «правильной». Будем считать, что исходная нумерация вершин графа является «правильной». Для простоты и, по существу, без ограничения общности предположим, что конечная вершина графа, в которую входит хотя бы одна дуга и ни одной не выходит, единственна и имеет номер n . Обозначим J_i множество номеров вершин, от которых дуги направлены в вершину с номером i .

Примем, что вершине с номером i соответствует агент, принимающий решение y_i , где $i = 1, \dots, n$; $y_i \in Y_i(\bar{y}^i)$, $Y_i(\bar{y}^i)$ – множество допустимых решений i -го агента, $\bar{y}^i = \{y_j, j \in J_i\}$ – набор решений агентов с номерами из множества J_i . Будем считать, что множества $Y_i(\bar{y}^i)$ компактны и $Y_i(\bar{y}^i) \subset Y$ где Y – множество с заданной топологией.

Пусть дугам соответствуют функции потерь $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i) \geq 0$ за отклонение решения y_i от взвешенного решения $k_{ij}y_j$ агента с номером $j \in J_i$, где k_{ij} – заданные коэффициенты, характеризующие соответствие решений y_i и y_j агентов i и j , $\lambda_{ij}(y_i, y_i) = 0$. Для всех агентов определим целевые функции $f_i(x_i, y_i, \bar{y}_{-i}) = h_i(y_i) - \chi_i(x_i, y_i) - \sum_{j \neq i} \lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i)$, где

$\bar{y}_{-i} = (y_1, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n)$ – совокупность решений всех агентов за исключением i -го агента; $h_i(y_i)$ – функция дохода, либо функция затрат, i -го агента от реализации решения y_i ; $\chi_i(x_i, y_i)$ – штрафы, устанавливаемые Центром агенту за отклонение решения y_i от назначенного Центром плана x_i , $x_i \in Y$, $\chi_i(x_i, y_i) \geq 0$, $\chi_i(y_i, y_i) = 0$.

В рассматриваемой системе связи между агентами определяются зависимостями множеств $Y_i(\bar{y}^i)$ допустимых решений каждого агента от решений предшествующих агентов. Назовем их связями первого типа. Связи второго типа между агентами

определяются функциями потерь $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i) \geq 0$, включенных в целевые функции агентов. Наличие таких двух типов связей определяет дуальную структуру связей между агентами.

Будем считать, что коэффициенты k_{ij} таковы, что $k_{ij}y_j \in Y$. Предположим, что функция $h_i(y_i)$ полунепрерывна сверху, а $\chi_i(x_i, y_i)$ и $\lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i)$ полунепрерывны снизу по всем переменным, каждая из которых может принимать значение на множестве Y . Пусть также задана целевая функция центра $F(\bar{x}, \bar{y})$, где \bar{x} – совокупность всех планов, \bar{y} – совокупность решений всех агентов. Предположим, что $F(\bar{x}, \bar{y})$ также полунепрерывна сверху по всем своим аргументам.

Агенты последовательно в порядке их нумерации выбирают решения y_i^* из условия

$$(3) \quad y_i^* \in Z_i(x_i, \bar{y}_{-i}^*) = \text{Arg max}_{y_i \in Y_i(\bar{y}_{-i}^*)} f_i(x_i, y_i, \bar{y}_{-i}^*).$$

Будем предполагать, что это равновесие существует.

Обозначим $Z = Z(\bar{x}, \bar{\chi})$ множество стратегий всех агентов, удовлетворяющих условию (3), и рассмотрим показатель эффективности системы $K(\bar{x}, \bar{\chi}) = \inf_{\bar{y}^* \in Z(\bar{x}, \bar{\chi})} F(\bar{x}, \bar{y}^*)$. Здесь зависи-

мость множества Z от \bar{x} и $\bar{\chi}$ обозначена потому, что предполагается, что Центр может выбирать механизм управления, т.е. планы x_i и функции штрафов $\chi_i(\cdot, \cdot)$ из заданных множеств Y и Θ_i . В качестве множеств Θ_i допустимых функций штрафов $\chi_i(\cdot, \cdot)$ будем рассматривать $\Theta_i = \{\chi_i(\cdot, \cdot) \mid \chi_i(x, y) - \chi_i(x, v) \leq \theta_i(v, y), \forall x, y, v \in Y\}$, где $\theta_i(\cdot, \cdot)$ – заданные показатели роста для функций штрафов, удовлетворяющие неравенству «треугольника» $\theta_i(x, y) \leq \theta_i(x, v) + \theta_i(v, y)$ при $\forall x, y, v \in Y$. В общем случае проблема ставится следующим образом.

Постановки задач.

1. Определить оптимальные планы и оптимальные функции штрафов $(\bar{x}^*, \bar{\chi}^*)$:

$$(4) \quad K(\bar{x}^*, \bar{\chi}^*) \geq \sup_{(\bar{x}, \bar{\chi}) \in M} K(\bar{x}, \bar{\chi}) - \varepsilon,$$

где $M = (Y, \Theta)$ – множество допустимых механизмов, $\Theta = (\Theta_1, \dots, \Theta_n)$, ε – достаточно малое положительное число.

2. Определить условия выполнения агентами планов: $y_i^* = x_i$, $i=1, \dots, n$.

В случае когда все $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i) = 0$, в [15, 17] для задачи (4) показано, что оптимальные планы содержатся в множестве согласованных планов, т.е. планов, которые агентам выгодно выполнять, а оптимальные функции штрафов совпадают с их показателями максимального роста $\theta_i(x, y)$. Заметим, что в этом случае эти показатели характеризуют степень централизации: если $\theta_i^1(x, y) > \theta_i^2(x, y)$, то для штрафов с индексом 1 степень централизации выше, чем для штрафов 2.

Под стимулированием агентов будем понимать управление выбором решений агентов посредством назначения штрафа за отклонение решения от плана.

Теорема 4. Если $\chi_i(x_i, y_i) = \theta_i(x_i, y_i)$ для всех $i = 1, \dots, n$ и $X^* \neq \emptyset$, то решения $\bar{y}^* = \bar{x}^*$ представляют собой равновесия по Нэшу в игре n агентов, где $\bar{x}^* \in X^* = \{x_i / x_i \in P_i(\bar{x}_{-i}), i=1, \dots, n\}$,

$$P_i(\bar{x}_{-i}) = \{x_i \in Y_i(\bar{x}_{-i}) | h_i(x_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij}(k_{ij}x_j, x_i) \geq h_i(y_i) - \theta_i(x_i, y_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij}(k_{ij}x_j, y_i), \forall y_i \in Y_i(\bar{y}_{-i})\}.$$

Доказательство. Так как функции $\theta_i(x_i, y_i)$ удовлетворяют неравенству «треугольника», то $P_i(\bar{y}_{-i}) = \bigcup_{x_i \in Y_i(\bar{y}_{-i})} Z_i(x_i, \bar{y}_{-i})$.

Рассмотрим некоторый равновесный план \bar{x}^* из множества X . Для плана \bar{x}^* по определению множества X^* для всех агентов имеет место $x_i^* \in Z_i(x_i^*, \bar{x}_{-i}^*)$. Отсюда вытекает справедливость неравенства

$$h_i(x_i^*) - \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij}(k_{ij}x_j^*, x_i^*) \geq h_i(y_i) - \theta_i(x_i^*, y_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij}(k_{ij}x_j^*, y_i)$$

при всех $y_i \in Y_i$, т.е. $x_i^* \in P_i(\bar{x}_{-i}^*)$. Теорема доказана.

Назовем $P_i(\bar{x}_{-i})$ множеством условно согласованных планов, так как назначаемый агенту из $P_i(\bar{x}_{-i})$ план согласуется с интересами агента в том смысле, что ему выгодно выполнять этот план при условии выполнения планов остальными агентами.

Рассмотрим функции штрафов вида

$$(5) \quad \chi_i(x_i, y_i) = \chi_i^0(x_i, y_i) + \sum_{j \neq i, j=1}^n \delta_{ij}(x_i, y_i),$$

где $\delta_{ij}(y_j, y_i) \geq \theta_{ij}(y_j, y_i) = \max_{z \in Y} [\lambda_{ij}(z, y_i) - \lambda_{ij}(z, y_j)]$. Здесь $\theta_i(x_i, y_i)$ характеризует показатель максимального роста функции потерь i -го агента при отклонении его решения от выбора j -го агента

Теорема 5. Если функции штрафов всех агентов имеет вид (5), функции $\chi_i^0(x_i, y_i)$ удовлетворяют неравенству «треугольника» и $x_i \in P_i^0(\bar{x}^i) = \{x \in Y_i(\bar{x}^i) \mid h_i(x) \geq h_i(y) - \chi_i^0(x, y_i), y_i \in Y_i(\bar{x}^i)\}$, то $\bar{y}^* = \bar{x}$ как доминантные стратегии.

Доказательство. Рассмотрим выбор решения i -м агентом при плане $x_i \in P_i^0(\bar{x}^i)$. Для того чтобы решение $y_i = x_i$ было выбрано агентом как доминантная стратегия, необходимо выполнение следующего неравенства при $\forall y_i, y_j \in Y$

$$(6) \quad h_i(x_i) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \lambda_{ji}(k_{ij} y_j, x_i) \geq \\ \geq h_i(y_i) - \chi_i^0(x_i, y_i) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \delta_{ji}(x_i, y_i) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \lambda_{ji}(k_{ij} y_j, y_i).$$

Так как $x_i \in P_i^0(\bar{x}^i)$ по предположению, то $h_i(x_i) \geq h_i(y_i) - \chi_i^0(x_i, y_i)$. Для справедливости (6) достаточно выполнения неравенств $\delta_{ij}(x_i, y_i) \geq \lambda_{ij}(k_{ij} y_j, y_i) - \lambda_{ij}(k_{ij}, y_j, x_i)$. Теорема доказана.

Теорема 5 определяет размер устанавливаемых Центром

штрафов для обеспечения выполнения планов агентами независимо от структуры сети и соотношения потерь $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_i)$ различных агентов. Учет специфики топологии сети и соотношений потерь агентов позволяет Центру «экономить» в размерах штрафов и порождает большое разнообразие постановок задач в зависимости от этой специфики. Здесь мы ограничимся простейшей из них.

Будем считать, что имеется выделенный агент, скажем, с номером l , влияние которого на другие агенты существенно превышает влияние окружающих агентов на него. Такая асимметрия выражается соотношениями $\lambda_{ij}(k_{ij}y_j, y_l) < \lambda_{il}(k_{il}y_l, y_j)$. Эти неравенства означают, что потери l -го агента от несовпадения с решением любого другого агента меньше, чем потери этого агента от несовпадения его решения с решением l -го агента. Более того, для простоты примем, что все $k_{ij} = 1$ и влияние на l -й со стороны остальных агентов равно 0, $\lambda_{jl}(y_l, y_j) \geq 0$, $\lambda_{ij}(y_j, y_l) = 0$. Также предположим независимость множеств Y_i от выбора решений предшествующими агентами. При сделанных предположениях рассмотрим возможность для Центра управлять принятием решений агентов опосредованно, воздействуя только на l -й агент.

Пусть Центр назначает l -му агенту план x_l из множества согласованных планов $P_l = \{x \in Y_l \mid h_l(x) \geq h_l(y_l) - \chi_l(x, y_l), y_l \in Y_l\}$, тогда $y_l^* = x_l$. Для агентов с номерами i , отличающимися от l , план x_i не устанавливается и $\chi_i(\cdot, \cdot) \equiv 0$. Рассмотрим множества

$$P_i^l = \{x \in Y_i \mid h_i(x) - \sum_{j=1, j \neq i, j \neq l}^n \lambda_{ij}(y_j, x) \geq \\ \geq h_i(y_i) - \lambda_{il}(x, y_i) - \sum_{j=1, j \neq i, j \neq l}^n \lambda_{ij}(y_j, y_i), \forall y_i \in Y_i\}.$$

Эти множества включают планы, которые будут выполняться агентами при наличии потерь от выбора решения l -м агентом.

Теорема 6 Если функция потерь $\lambda_{il}(x, y_i)$ удовлетворяет неравенству «треугольника», $Q_l \neq \emptyset$, где $Q_l = P_l \bigcap_{j \in l} P_j^l$, и $x_l \in Q_l$,

то $y_i^* = x_l$ при всех $i = 1, \dots, n$ является равновесием по Нэшу; если $\lambda_{il}(x_l, y_i) = \chi_l^0(x_l, y_i) + \sum_{i \neq l, i=1}^n \delta_{il}(x_l, y_i)$, то любой план x_l , такой что $x_l \in P_l \bigcap_{j \in I} P_j^{0l}$, где $P_j^{0l} = \{x \in Y_j \mid h_j(y_i) - \chi_i^0(x, y_j)\}$, $y_j \in Y_j$, определяет выбор решений агентов $y_i^* = x_l$ как доминантных стратегий.

Доказательство. Поскольку по предположению $\lambda_{il}(x, y_i)$ удовлетворяет неравенству «треугольника», то $P_i^l = \bigcup_{x_l \in Y} Z_i(x_l)$.

Поскольку по предположению $P_l \bigcap_{j \in I} P_j^l \neq \emptyset$, план x_l , во-первых выполняется l -м агентом. Из $x_l \in P_i^l = \bigcup_{x \in Y} Z_i(x)$ следует, что

$x_l \in Z_i(x)$. Следовательно, $y_i^* = x_l$ является равновесием по Нэшу. Доказательство второй части утверждения использует логику доказательства теоремы 5. Пусть Центр назначил для l -го агента план $x_l \in P_l$. Для того чтобы i -й агент выбрал свое решение $y_i^* = x_l$ как доминантную стратегию достаточно выполнения для всех $y_i, y_j \in Y$ следующих соотношений:

$$(7) \quad h_i(x_l) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \lambda_{ji}(y_j, x_l) \geq \\ \geq h_i(y_i) - \chi_i^0(x_l, y_i) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \delta_{ji}(x_l, y_i) - \sum_{j \neq i, j=1}^n \lambda_{ji}(y_j, y_i).$$

Так как по предположению $x_l \in P_i^{0l}$, а следовательно, $h_i(x_l) \geq h_i(y_i) - \chi_i^0(x_l, y_i)$, то для справедливости (7) достаточно выполнения неравенств $\delta_{ji}(x_l, y_i) \geq \lambda_{ji}(y_j, y_i) - \lambda_{ji}(y_j, x_l)$. Теорема 3 доказана.

Множество $Q_l(\bar{x})$ по сути является областью влияния Центра на агенты через l -й агент.

Теорема 6 определяет условия, при которых Центр может

устанавливать штрафы только одному агенту, занимающему «лидирующее» положение в рассматриваемой сетевой структуре. При этом определяются границы области влияния этого агента на свое окружение.

8. Заключение

Статья описывает, преимущественно в хронологическом порядке, исследования механизмов согласованного управления в организационных системах, выполненные автором или в соавторстве. Сюда включены исследования начиная с 1979 г. по настоящее время (2019 г.). Следует отметить, что статья не является полным обзором работ по рассматриваемой тематике, хотя необходимость такого обзора со сравнением и анализом работ многих авторов является весьма актуальной.

Изложенные в статье результаты могут быть использованы при разработке оптимальных механизмов стимулирования, обеспечивающих сообщение в Центр достоверных данных. Выводы разделов 5–6 статьи могут быть использованы при анализе и разработке механизмов управления в системах, имеющих сетевую структуру, например, сборочных производствах, а также при исследовании взаимного влияния агентов в социальных сетях.

Литература

1. БУРКОВ В.Н. *Основы математической теории активных систем*. – М.: Наука, 1977. – 256 с.
2. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальность принципа открытого управления. Необходимые и достаточные условия достоверности информации в активных системах // Автоматика и телемеханика*. – 1985. – №3. – С. 73–80. Англ.: V.N. BURKOV, A.K. ENALEEV *Optimality of the principle of open control. Necessary and sufficient conditions for reliability of information in active systems // Automation and Remote Control*. – 1985. – Vol. 46, No. 3. – P. 341–348.

3. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., КОНДРАТЬЕВ В.В. *Двухуровневые активные системы. IV. Цена децентрализации механизмов функционирования* // Автоматика и телемеханика. – 1980. – №6. – С. 110–116. Англ.: BURKOV V., ENALEEV A., KONDRAT'EV V. *Two level Active systems. IV. The Cost of Decentralization of Operating Mechanisms.* // Automation and Remote Control. – 1980. – Vol. 41, No 2. – P. 829–835
4. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., КОНДРАТЬЕВ В.В., ЦВЕТКОВ А.В. *Элементы теории оптимального синтеза механизмов функционирования двухуровневых активных систем. I. Необходимые и достаточные условия оптимальности правильных механизмов функционирования в случае полной информированности центра* // Автоматика и телемеханика. – 1983. – №10. – С. 139–144. Англ.: V.N. BURKOV, A.K. ENALEEV, V.V. KONDRAT'YEV, A.V. TSVETKOV *Elements of the theory of optimal design for functioning mechanisms of two-level active systems. I* // Automation and Remote Control. – 1983. – Vol. 44, No. 10. – P. 1356–1360.
5. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., КОНДРАТЬЕВ В.В., ЦВЕТКОВ А.В. *Элементы теории оптимального синтеза механизмов функционирования двухуровневых активных систем. II. Синтез оптимальных правильных механизмов функционирования в случае полной информированности центра* // Автоматика и телемеханика. – 1984. – №11. – С. 86–92. Англ.: V.N. BURKOV, A.K. ENALEEV, V.V. KONDRAT'YEV, A.V. TSVETKOV *Fundamentals of theory of optimal design for functioning mechanisms of two-level active systems. II* // Automation and Remote Control. – 1984. – Vol. 45, No. 11. – P. 1457–1463.
6. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., КОНДРАТЬЕВ В.В., ЩЕПКИН А.В., МАРИН Л.Ф. *Правильные механизмы функционирования организационных систем* // В кн.: УШ Всесоюзное совещание по проблемам управления. Тезисы докладов. Книга 2. – Москва, Таллин: Изд. Института проблем управления и Госплана ЭССР, 1980. – С. 382–384.

7. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., ЛАВРОВ Ю.Г. *Синтез оптимальных механизмов планирования и стимулирования в активной системе* // Автоматика и телемеханика. – 1992. – №10. – С. 113–120. Англ.: V.N. BURKOV, A.K. ENALEEV, YU.G. LAVROV. *Design of optimal mechanisms for planning and stimulation in an active system* // Automation and Remote Control. – 1992. – Vol. 53, No. 10. – P. 1579–1585
8. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., НОВИКОВ Д.А. *Механизмы стимулирования в вероятностных моделях социально-экономических систем* // Автоматика и телемеханика. – 1993. – №11. – С. 3–30. Англ.: V.N. BURKOV, A.K. ENALEEV, D.A. NOVIKOV. *Stimulation mechanisms in probability models of socioeconomic systems* // Automation and Remote Control. – 1993. – Vol. 54, No. 11. – P. 1575–1598.
9. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., НОВИКОВ Д.А. *Вероятностная задача стимулирования* // Автоматика и телемеханика. – 1993. – №12. – С. 125–130. Англ.: V.N. Burkov, A.K. Enaleev, D.A. Novikov *A probabilistic stimulation problem* // Automation and Remote Control. – 1993. – Vol. 54, No. 12. – P. 1846–1851.
10. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., СТРОГОНОВ В.И. *Модели и структура управления разработкой и внедрением инновационных средств и технологий (на примере железнодорожного транспорта). II. Модель механизма стимулирования энергоэффективности и элементы структуры управления проектами* // Управление большими системами. – 2018. – Вып. 76. – С. 219–238. – URL: <https://doi.org/10.25728/ubs.2018.76.7>.
11. БУРКОВ В.Н., ЗАЛОЖНЕВ А.Ю., НОВИКОВ Д.А. *Теория графов в управлении организационными системами*. – М.: Изд-во Синтег, 2001. – 124с.
12. БУРКОВ В.Н., КОНДРАТЬЕВ В.В. *Механизмы функционирования организационных систем*. – М.: Наука, 1981. – 384 с.
13. БУРКОВ В.Н., КОРГИН Н.А., НОВИКОВ Д.А. *Введение в теорию управления организационными системами: учебник*. – М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 264 с.

14. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б. *Игры с противоположными интересами*. – М.: Наука, 1978. – 327 с.
15. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Разработка механизмов стимулирования и управления в двухуровневых активных системах*: автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МФТИ, 1980. – 18 с.
16. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальный механизм функционирования в активной системе с обменом информацией // Управление большими системами*. – 2010. – №29. – С. 108–127.
17. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальность согласованных механизмов функционирования в активных системах // Управление большими системами*. – 2011. – №33. – С. 143–166. Англ.: ENALEEV A.K. *Optimal incentive-compatible mechanisms in active systems // Automation and Remote Control*. – 2013. – Vol. 74, No. 3. – P. 491–505.
18. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальные согласованные механизмы в активных системах и задачи теории контрактов // Управление большими системами*. – 2014. – №49. – С. 167–182.
19. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальный согласованный механизм в системе с несколькими активными элементами // Проблемы управления*. – 2015. – №3. – С. 20–28. Англ.: ENALEEV A.K. *Optimal incentive compatible mechanism in a system with several active elements // Automation and Remote Control*. – 2017. – Vol. 78, No. 1. – P. 146–158.
20. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Модель оптимального согласованного механизма в цепочке активных элементов // Труды 9-й Международной конференции по исследованию операций, 22-27 октября 2018 г., Москва, Россия*. – М.: МАКСПРЕСС, Москва, 2018. – Том 2. – С. 23–28.
21. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальность согласованных механизмов в сетевых организационных структурах // Проблемы управления*. – 2020. – №1. – С. 24–38.
22. ЕНАЛЕЕВ А.К., КАЗАХБАЕВА Г.У. *Стимулирование эффективности управления производственными процессами // В кн.: Вопросы создания АСУТП и АСУП*. – Алма-Ата: Каз. ПТИ им. В.И. Ленина, 1983. – С. 44–52.

23. ЕНАЛЕЕВ А.К., ЛАВРОВ Ю.Г. *Оптимальное стимулирование в активной системе со стохастическим элементом* // Автоматика и телемеханика. – 1990. – №2. – С. 104–113. Англ.: А.К. ENALEEV, YU.G. LAVROV. *Optimal incentives in an active system with a stochastic element* // Automation and Remote Control. – 1990. – Vol. 51, No. 2. – P. 223–231
24. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Согласованные разбиения в сетевых организационных структурах* // Проблемы управления. – 2016. – №6. – С. 18–25. Англ.: ENALEEV А.К. *Coordinated Partitions in Organizational Network Structures* // Automation and Remote Control. – 2018. – Vol., No. 79(2). – P. 337–349.
25. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Согласованное управление в многовариантных организационных сетевых структурах* // Труды международной научно-практической конференции «Теория активных систем» (ТАС-2016), 16-17 ноября 2016 г. Москва, ИПУ РАН, 2016. – С. 297–299.
26. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Механизмы управления согласованием разбиений крупномасштабной сети* // Материалы 10-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017), 2-4 октября 2017 г., Москва, Россия. – М.: ИПУ РАН, Москва, 2017. – Т. 1. – С. 416–424.
27. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Консолидированные равновесия в согласованной активной системе с сетевой структурой* // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2017), 11-16 сентября 2017 г., с. Дивногорское, Геленджик, Россия. – Изд-во Южного федерального университета, Ростов-на Дону, Таганрог, 2017. – Т. 3. – С. 23–25.
28. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Согласованное планирование и стимулирование в сетевой структуре* // Труды совещания ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г. – М.: Изд.: ИПУ РАН. – С. 2069–2073.
29. ЕНАЛЕЕВ А.К., САМАТОВ Р.А. *Анализ и синтез механизмов управления в двухканальных активных системах* // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – №4(66). – С. 28–34.

30. ЕНАЛЕЕВ А.К., САМАТОВ Р.А. *Пересчетные модели в двухканальных механизмах управления сложными строительными проектами* // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – №4.1(66). – С. 150–155.
31. КОРГИН Н.А. *Неманипулируемые механизмы принятия решений в управлении организационными системами*: автореф. дис... докт. техн. наук. – М: ИПУ РАН, 2014. – 48 с.
32. ENALEEV A.K. *Optimal Mechanism at Network Active Systems* // Proc. of 11th IEEE Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD'2018), Moscow. – 2018. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551780>.
33. ENALEEV A.K. *Promoting the coincidence of different partitioning types at large-scale network* // 10th IEEE Int. Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD'2017), Moscow, Russia. – IEEE Conference Publications, 2017. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109616/>.
34. ENALEEV A.K. *Coordinated Management in Hierarchical Network Structures* // Proc. of 12th IEEE Conference Management of Large-Scale System Development MLSD'2019. – Moscow: IEEE, 2019. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8911041>.
35. BOLTON P., DEWATRIPONT M. *Contract Theory*. – Cambridge, Mass & London, England: MIT Press, 2005. – 740 p.
36. MASKIN E., DASGUPTA P., HAMMOND P. *The Implementation of Social Choice Rules: Some General Results on Incentive Compatibility* // Review of Economic Studies. – 1979. – Vol. 46, No. 2. – P. 185–216.

COORDINATED MANAGEMENT MECHANISMS IN ACTIVE SYSTEMS

Anver Enaleev, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, PhD, senior researcher (anverena@mail.ru).

Abstract: The background and recent researches of the incentive compatible mechanisms in active systems performed by the author are presented. These include the correct mechanisms optimality with full awareness of the center, the optimality of open control principle, the optimality of the incentive compatible mechanisms with incomplete awareness of the center, building optimal incentive compatible mechanisms in network active systems, coordination of network partitions, mechanisms in multi-element active systems with a dual network communication structure. The first parts of the article bring together the methods of coordinated management published at different times, and the last part describes the new results of constructing and analyzing coordinated mechanisms for dual network structures based on the results of previous studies. The dual relationships of agents are determined by the totality of relationships between the sets of acceptable values of agent strategies, and the totality of relationships in the goal functions of agents.

Keywords: organization, equilibrium, management, coordination, planning, incentive compatibility, revelation, optimization.

УДК 06.35.51; 73.01.77

ББК 65

DOI: 10.25728/ubs.2020.83.1

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Я.И. Квинто.*

Поступила в редакцию 29.12.2019.

Опубликована 31.01.2020.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА К КОРРЕКТНОМУ ОПИСАНИЮ ЭКСПЕРТНОГО КРЕАТИВНОГО МЕТОДА. Ч. 1. РАЗРАБОТКА ПОДХОДА

Сидельников Ю. В.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, МАИ, Москва)

Актуальность подхода к корректному описанию произвольного экспертного креативного метода обоснована необходимостью повышения эффективности реализации подобных методов. Для этой цели также желательно создавать модели таких методов для их корректного сопоставления. В результате исследования разработан подход к корректному описанию экспертного креативного метода. Предложено восемь постулатов и введены три базовые гипотезы исследования. Рассмотрены необходимые и достаточные условия для идентификации произвольной разновидности мозговой атаки; необходимое условие корректного описания произвольного экспертного метода; необходимое условие адекватности модели потенциально возможной разновидности мозговой атаки. Введено шесть уровней (балльных градаций) некорректности описания экспертного метода и дано их обоснование. Впервые рассмотрено условие, которое позволяет отделить совокупность мозговых атак от совокупности разновидностей метода фокальных объектов, имеющих одинаковый механизм получения новой информации на этапе генерации идей. Разработан понятийный аппарат исследования по рассматриваемой теме. В частности, даны формальные определения понятий «существенный параметр (характеристика) процедурной составляющей метода» и «существенный параметр (характеристика) описательной составляющей метода». Кроме того, введены и обоснованы понятия идентификационных, желательных и несущественных параметров. В дальнейшем на этой основе предлагается разработать адекватную модель потенциально возможной разновидности мозговой атаки.

Ключевые слова: креативные методы; модели описания и процедуры мозговой атаки.

1. Введение

Обычно теоретические исследования, тематически связанные с разновидностями мозговой атаки (МА), идут по двум

¹ Юрий Валентинович Сидельников, д.т.н., проф. (sidelnikovy@mail.ru).

основным направлениям. В рамках первого критически оценивается эффективность той или иной разновидности МА [9]. В рамках второго исследователи сосредоточены на поиске новых разновидностей, например в статье [12]. Мы предлагаем иное направление исследований.

Целью нашего исследования является разработка подхода к корректному описанию произвольного экспертного креативного метода с тем, чтобы на его основе в дальнейшем создавать модели креативных методов.

Для реализации указанной цели рассмотрим её декомпозицию и решим следующие задачи:

1. Разработать понятийный аппарат исследования по теме: подход к корректному описанию экспертного креативного метода.

2. Ввести постулаты и рассмотреть базовые гипотезы исследования.

3. Найти необходимое условие корректного описания произвольного экспертного метода.

4. Найти необходимые и достаточные условия для идентификации произвольной разновидности мозговой атаки (МА).

5. Выдвинуть и обосновать гипотезы о структуре и виде модели произвольной разновидности МА.

6. Найти необходимое условие адекватности модели потенциально возможной МА.

7. Выяснить условия построения адекватной модели потенциальной разновидности МА.

8. Рассмотреть возможные направления дальнейших разработок.

В данной работе мы будем рассматривать показатели, характеризующие метод с точки зрения главной нашей задачи – повышения качества экспертного заключения, полученного с его помощью. Конечно, можно рассмотреть и другие показатели, характеризующие экспертные методы с точки зрения удобства их использования, экономичности, временных и материальных затрат и т.д., которые также косвенно влияют на уровень качества экспертного заключения.

При построении модели процедуры мы будем брать за основу информационные аспекты процесса получения информации группой экспертов.

2. Разработка понятийного аппарата, формулирование постулатов и базовых гипотез исследования

Необходимо пояснить и (или) формально ввести совокупность нижеследующих ключевых понятий, используемых при описании цели и задач исследования: I) метод; II) креативный метод; III) разновидность метода; IV) разновидность экспертного метода; V) разновидность креативного экспертного метода; VI) четко выделенная совокупность креативных экспертных методов; VII) существенные параметры и характеристики экспертного метода; VIII) корректность экспертного метода; IX) вероятность решения задачи субъектом, использующим данный креативный метод; X) модель.

I. Поясним первое из перечисленных понятий: метод.

При этом мы будем рассматривать лишь научные методы. Описание этого понятия рассмотрено во многих публикациях. Например: «Древнегреческое слово «метод» (*μέθοδος*) обозначает путь к достижению какой-либо цели. Поэтому в широком смысле слова под методом подразумевается совокупность рациональных действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить определённую задачу или достичь определённой практической или теоретической цели. Научный метод — это система регулятивных принципов, приёмов и способов, с помощью которых достигается объективное познание действительности в рамках научно-познавательной деятельности» [21].

II. Поясним второе из перечисленных в списке понятий: креативный метод. Назовем метод креативным, если:

- в его структуре наличествует по крайней мере один механизм получения новой информации;
- с его помощью можно создать новую информацию.

Приведем примеры механизмов получения нового, которые иногда имеют собственное название. Среди них: метод проб и ошибок; процедура с обратной связью; метод с элементами

рефлексии. Названия механизмов: хаотизация перебора, систематизация перебора.

III. Поясним третье из перечисленных в списке понятий: разновидность метода.

В рамках данного исследования мы затронем лишь один вариант уменьшения меры полисемии этого понятия. Трудности в использовании этого понятия часто возникают вследствие использования понятия «модификации метода» в качестве синонима понятия «разновидность метода». Как, например, при описании мозговой атаки в монографии [16, с. 69] разновидность метода и его модификация используются как синоним. Сопоставим понятия «модификация метода» и «разновидность метода». Мы, вслед за авторами «Современного экономического словаря» [10], исходим из того, что понятие модификация (франц. *modification* от лат. *modificatio* – изменение) – это внесение прогрессивных, изменений, преобразований производства, технологии, производимой продукции, создание улучшенного варианта, новой модели. И так как не всегда новый вариант метода можно охарактеризовать как прогрессивный или улучшенный, то в рамках этой статьи будем использовать нейтральные термины: «разновидность метода» и «разновидность мозговой атаки».

IV. В рамках данной статьи используем существующую трактовку четвертого из перечисленных понятий. Впервые строгое родовидовое определение понятия разновидность экспертного метода, базирующееся на понятии научного метода дано в работе [15].

V. Под разновидностью креативного экспертного метода (пятое понятие из списка) мы понимаем системно организованную совокупность правил, приемов и/или способов, предназначенную для инициации процесса решения оценочных задач с помощью людей, которая, во-первых, удовлетворяет следующим трем условиям.

1. Процесс и, возможно, результат оценивания параметра (характеристики) объекта должен быть воспроизводим другим

человеком и/или коллективным субъектом и/или научным сообществом либо всегда, либо с высокой вероятностью¹.

2. Все условия задачи, исходные данные, предположения, допущения и оценки представляются в наглядной форме и доступны для проверки.

3. Правила и приемы должны быть экономными, способными давать результат с наименьшими затратами средств и времени².

Во-вторых, содержит один реальный механизм получения новой информации (МПНИ), как некоторое четко выделенное подмножество комбинаций базовых механизмов получения новой информации.

При этом под базовым МПНИ понимаем любую системно организованную совокупность правил, приемов и способов получения новой информации от человека, которая [15]:

а) предназначена для инициации процесса решения оценочных задач конкретного уровня сложности³ с помощью людей;

б) позволяет осуществить «переход» от условий задачи к ее решению;

в) и, кроме того, применение которой не связано с использованием предметно-зависимых предположений (т.е. предположений, обусловленных спецификой предметной области).

И, в-третьих, может иметь нижеследующие составные части:

а) «императив», с помощью которого определяется, приближаемся ли мы к решению задачи или нет. Аналог, метафора – компас.

б) «дополнительное требование», соблюдение которого обеспечивает возможность работы реального МПНИ и (или)

¹ При этом вероятность трактуется либо как объективная числовая величина в аксиоматике Колмогорова, либо субъективная, в том числе нечисловая.

² При формулировании этих трех условий мы базировались на подходе Квейда к определению методики [6].

³ Свойство задачи, отражающее уровень «креативности», необходимой для её решения, степень её «нетривиальности», которая определяется с помощью алгоритма, описанного в статье [15].

повышает его эффективность. Аналог, метафора – корпус автомобиля. Например, мы полагаем, что 11-е правило Т. Эйлоарта [17]: «Спать с проблемой, идти на работу, гулять, принимать душ, ехать, пить, есть, играть в теннис — все о ней» не является механизмом получения нового, а таким «дополнительным требованием» для задачи определенного уровня сложности.

VI. Шестое понятие: четко выделенная совокупность экспертных методов (методик или процедур) – введем его и в дальнейшем поясним, исходя из постановки целей исследования, лишь на примере МА.

Постулат №1. Полагаем, что произвольный экспертный метод можно отнести к четко выделенной совокупности, если существуют совокупность свойств и характеристик, которые необходимы и достаточны для идентификации такого креативного экспертного метода.

Утверждение №1. Полагаем, что для произвольной разновидности мозговой атаки (МА) существует нижеследующий набор свойств и характеристик (совокупность из четырех условий), которые необходимы и достаточны для ее идентификации:

1. Дискурсивная хаотизация перебора¹, как реальный механизм получения новой информации (МПНИ) от участников на этапе генерации идей [15].

2. Разделение процесса генерации идей от этапа их критического анализа по времени и по группам участников. Таким образом, сначала одна группа участников, получив задачу, только выдвигает идеи, другая же группа, но уже экспертов – анализирует полученные предложения. Как минимум это двухэтапная процедура решения задачи.

3. Управляемая дискуссия в малых группах с непосредственным контактом участников (этап генерации) и экспертов (этап анализа).

¹ О дискурсивности хаотизации перебора говорится с целью подчеркнуть, что хаотизируется познавательный процесс, протекающий в рамках уже имеющихся представлений и смыслов, означенных, оформленных, определенных полностью или частично.

Еще одна трудность идентификации связана с тем, что таким же реальным МПНИ от экспертов на этапе генерации обладают не только МА, но и произвольный метод фокальных объектов (МФО).

Кроме трех необходимых условий рассмотрим четвертое, которое позволяет отделить совокупность МА от совокупности разновидностей МФО, имеющих одинаковый МПНИ, используемый экспертами именно на этапе генерации.

Таким образом, мы получим необходимые и достаточные условия принадлежности креативного экспертного метода к четко выделенной совокупности таких экспертных методов (методик или процедур) как МА.

Опишем эти отличия на основе выделенных в верхней строке таблицы №1 характеристик, параметров и приемов.

Таблица 1. Отличия методов МА и МФО на этапе генерации

Метод	Характеристика ролевой функции участника по уровню знаний о предмете	Порядок постановки решения задачи	Приемы, используемые в методе	Количество участников
МА	Не эксперт	Сразу пытаются получить решение	Развитие и заимствование идеи друг друга	Группа (практически всегда).
МФО	эксперт	Не сразу пытаются получить решение	Источниками для генерирования идей служат ассоциации, метафоры и случайно выбранные понятия	Один (практически всегда).

VII. Поясним, и в дальнейшем дадим формальное определение понятия: «существенный параметр (характеристика) экспертного метода». (Седьмое понятие из списка во введении).

Детализируем трактовку этого понятия, следующим образом: «существенный параметр (характеристика) процедурной составляющей метода» и «существенный параметр (характеристика) описательной составляющей метода». Кроме того, полезно:

– выделить и формализовать такое подмножество существенных параметров (характеристик) как важнейшие (идентификационные), которые идентифицируют или процедурную составляющую креативного экспертного метода из выделенной совокупности или его описание;

– пояснить понятие «желательный параметр (характеристика) экспертного метода». (Например: «удобство использования экспертного метода» или «временные и материальные затраты на реализацию экспертного метода»);

– определить понятия «несущественный параметр (характеристика) экспертного метода».

К пояснению понятий «несущественный параметр (характеристика)» и «существенный параметр (характеристика) экспертного метода» можно подойти, используя подход, описанный в работе [22]. В таком случае к несущественным параметрам (характеристикам) экспертного метода относят те, которые метод может приобретать или терять, оставаясь в то же время все тем же самым методом.

И тогда к существенным параметрам (характеристикам) конкретного экспертного метода относят те, утрачивая которые этот метод перестает быть самим собой, становится чем-то иным.

Постулат №2. Любая из характеристик (параметр), которая идентифицирует процедурную составляющую креативного экспертного метода или его описание, является существенной.

В качестве примера рассмотрим идентификационные параметры (характеристики) описания научного материала статьи. Такими параметрами, исходя из структуры этой статьи, обычно определяемой редакцией журнала, являются: 1) индекс, например, УДК; 2) название статьи; 3) автор (авторы); 4) аннотация статьи; 5) ключевые слова; 6) введение; 7) постановка задачи; 8) структурно-содержательные блоки (параграфы); 9) заключение или выводы; 8) список цитированной литературы.

Постулат №3. Характеристика (параметр) процедурной составляющей метода является существенной, если ее отсутствие создает неясность при использовании этого метода.

Рассмотрим поясняющий пример. Так, при описании такого метода, как итеративная экспертная процедура типа Дельфи, авторы иногда не дают информацию о такой характеристике процедурной составляющей этого итеративного метода, как «правило остановки процедуры» и, значит, для пользователя не ясно, когда нужно заканчивать свою деятельность. Именно такой казус имеется в статье Светланы Котляр, когда автор не указала правило остановки разработанной ею итеративной процедуры [8]. Таким образом, правило остановки процедуры является существенной характеристикой итеративного метода.

Постулат №4. Значения параметров (характеристик) процедурной составляющей метода могут быть заданы в различных типах шкал, от номинальной до абсолютной, а процедуры проверки их существенности могут различаться.

Как, например, это предложено в статье [11].

Рассмотрим случай, когда параметр (характеристика) метода задан в такой шкале, где на множестве значений рассматриваемого параметра (характеристики) метода можно задать отношение хотя бы частичного порядка (например, порядковая, балльная или абсолютная шкала).

Постулат №5. Параметр (характеристика) процедурной составляющей произвольного метода является существенным, если найдется по крайней мере одно не пустое подмножество значений этого параметра, такое что между значениями рассматриваемых параметров на данном подмножестве и значениями эффективности реализации этого метода, как функции от этого параметра, существует прямая или обратно пропорциональная зависимость.

Подчеркнем еще раз, что в этом случае речь идет лишь о существенных параметрах (характеристиках) процедурной составляющей метода.

Приведем поясняющий пример. Рассмотрим классическую мозговую атаку и такой ее параметр, как число аналитиков на этапе анализа идей. При этом фиксируем остальные параметры. На наш взгляд, при увеличении числа аналитиков от одного до

некоторого небольшого их числа k значение эффективности реализации этапа анализа МА, как одного из важнейших для этого метода, не будет уменьшаться. Затем на интервале $(k, k + n)$ значение эффективности практически не будет меняться при увеличении числа аналитиков от k до $(k + n)$. Когда же число аналитиков N будет существенно больше, чем $(k + n)$, и будет возрастать, то значение эффективности реализации этапа анализа МА будет падать и, значит, эффективности реализации всего метода также будет уменьшаться.

VIII. Сначала поясним, а затем дадим формальное определение наиболее важного для нашего исследования понятия «корректность экспертного метода», восьмого в списке используемых понятий.

Необходимо иметь в виду, что рамках данного исследования мы используем экспертный метод для получения новой информации от участников или экспертов, а не для анализа, принятия решений или измерения. Это нашло свое отражение в том, что понятие корректности описания экспертного метода отличается от семантически близкого, казалось бы, понятия точности (правильности и прецизионности) метода или методики. Последнее понятие используются как характеристики метода с целью оценки его точности (правильности и прецизионности). Необходимо отметить, что понятие точности методов гостировано [3]. Причем этот ГОСТ является полным аутентичным текстом международного стандарта [5].

В дальнейшем мы будем вводить два типа некорректности экспертного метода: процедурную некорректность экспертного метода и описательную. Введение двух типов некорректности экспертного метода необходимо хотя бы потому, что описание самого метода и его процедурной составляющей соответствует единой цели, но двум качественно различным задачам, стоящим перед исследователем и реализующим эту цель.

Относительно процедурной некорректности экспертного метода полагаем:

Постулат №6. Достаточное условие некорректности экспертного метода. Экспертный метод решения задач, содержащий данную процедурную составляющую, некорректно задан

(описан), если у любого пользователя могут возникнуть объективные трудности при решении любых задач с его помощью.

Пояснить это можно следующим образом: даже при внимательном прочтении описания того или иного экспертного метода (методики или процедуры) у пользователя иногда возникают существенные трудности при их применении. При этом мы исходим из того, что мы рассматриваем именно научный метод в трактовке описанной выше.

Эти трудности могут быть связаны, например, с:

- неполнотой отображения авторами процедурной составляющей метода, точнее отсутствие существенных параметров этой составляющей метода;
- тем, что они включают в описание процедурной составляющей экспертного метода такую информацию, на которую пользователь обращает внимание, но которую нельзя использовать при применении этого метода;
- сложностью или некорректностью задачи.

Конечно, третья из перечисленных трудностей при применении может быть связана не с самим методом, а с высоким уровнем сложности задачи, которую пытается решить пользователь этого экспертного метода, или же если сама задача сформулирована некорректно. Необходимо иметь в виду, что существуют по крайней мере три различные трактовки некорректной задачи: в математике, введенное Жаком Адамаром и развитое московской школой академика Андрея Николаевича Тихонова [7], в рамках классической логики [4] и в рамках эротетической (интеррогативной) логики [2].

В дальнейшем мы будем рассматривать лишь первую трудность и стремиться минимизировать уровень найденных трудностей.

Пояснить понятие «описательная некорректность экспертного метода» можно на основе следующего Постулата №7. Экспертный метод решения задач некорректно описан, если отсутствуют:

- те или иные важнейшие (идентификационные) параметры (характеристики) описания экспертного метода;
- какие-либо элементы структуры описания, хотя и не являющиеся идентификационными параметрами, но присущие ее

нормам в данном журнале, соответствующего раздела или направления науки.

Утверждение №2. Необходимое условие корректного описания произвольного экспертного метода.

Описание экспертного метода является корректным, если оно содержит описание не только самой процедуры, но и другие блоки информации, полезные и (или) необходимые как для пользователя этим методом, так и для научного сообщества в целом.

Так, например, название метода и информация об авторе (авторах) в структуре его описания служит для его пользователя идентификатором этого метода, а также содействует реализации одной из потребностей не столько конкретного автора этого метода, сколько научного сообщества в целом.

Введем понятие «уровень некорректности описания экспертного метода». В данной статье будет введено лишь шесть уровней (балльных градаций). При этом при их введении по возможности обеспечим межэкспертную воспроизводимость балльных градаций значений уровня некорректности описания экспертного метода.

Формализуем трактовки уровней некорректности описания метода, начиная от максимально некорректного первого уровня. При этом устанавливаем, что с возрастанием значения балльной оценки ее уровень некорректности описания метода будет ослабевать.

Полагаем, что экспертный метод описан максимально некорректно (первый уровень), если при его описании не доступен первоисточник его описания, хотя и известно о существовании такого метода.

Например, максимально некорректно описан в российской научной литературе метод каталога, являющийся базовым для всех разновидностей метода фокальных объектов. Этот метод широко известен в российской и мировой научной литературе. Хотя нам и удалось найти ссылку на первоисточник, но на сегодняшний день этот источник практически не доступен,

по крайней мере в России¹ [19]. Аналогичная ситуация по ряду разновидностей МА.

В дальнейшем там, где это возможно, конкретизируем трактовку уровней некорректности описания экспертных методов на примере МА.

Полагаем, что описание креативного экспертного метода некорректно на втором уровне, если:

- 1) доступно описание этого метода по первоисточнику;
- 2) при этом в первоисточнике отсутствует описание важнейших из существенных параметров или характеристик (если их можно выделить), которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод из рассмотренной совокупности.

Так для МА, на наш взгляд, таким важнейшим параметром является дискурсивная хаотизация перебора как реальный механизм получения новой информации от участников на этапе генерации идей. Наличие такого механизма позволяет пользователю эффективно использовать этот метод для решения любых экспертных задач третьего уровня сложности [14, 18]. (Как минимум, автор при описании такого параметра должен указывать, что идеи на этапе генерации должны возникать случайным образом, и при этом, конечно, их любая критика должна быть строго запрещена).

Необходимо обратить внимание, что при определении уровня некорректности описания креативного экспертного метода нужно указывать, к какой совокупности методов он относится, хотя бы потому, что существенные параметры и (или) характеристики, которые идентифицируют как саму процедуру такого метода, так и его описание, различны для разных совокупностей этих методов. Так, например, если мы пытаемся определить уровень некорректности описания такого креативного экспертного метода, как синектика [18] и при этом будем рассматривать его как разновидность МА, а это часто встречается в литературе на русском языке, например [1], то ее описание

¹ Практически во всех российских источниках нет указания на первоисточник и неверно указан год публикации.

будет некорректно на втором уровне. Хотя если мы не будем указывать на принадлежность синектики к совокупности МА, то уровень некорректности ее описания может быть выше второго, и значит слабее.

Описание креативного экспертного метода некорректно на третьем уровне, если:

- 1) доступно описание этого метода по первоисточнику;
- 2) в этом первоисточнике дано описание важнейшего из существенных параметров (характеристик), который идентифицирует его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности (при условии, что его можно выделить);
- 3) но при этом отсутствуют описание других существенных параметров или характеристик, которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности.

Так, для конкретной разновидности МА эта совокупность состоит из четырех указанных условий (существенных параметров или характеристик) которые идентифицируют его принадлежность к МА. Например, второе условие его идентификации: «разделение по времени и по группам участников процессов генерации и критического анализа».

Описание креативного экспертного метода некорректно на четвертом уровне, если:

- 1) доступно описание этого метода по первоисточнику;
- 2) в этом первоисточнике дано описание важнейшего из существенных параметров (характеристик), который идентифицирует его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности (при условии, что его можно выделить);
- 3) в этом первоисточнике дано описание других существенных параметров или характеристик, которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности;
- 4) но при этом отсутствуют описание других существенных и желательных параметров или характеристик как процедуры такого метода, так и его описания.

Например, для произвольного метода в описании отсутствуют такие параметры и характеристики, как название рассматриваемой разновидности метода или фамилия автора (авторов) этой разновидности.

Описание креативного экспертного метода некорректно на пятом уровне, если:

- 1) доступно описание этого метода по первоисточнику;
- 2) в этом первоисточнике дано описание важнейшего из существенных параметров (характеристик), который идентифицирует его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности (при условии, что его можно выделить);
- 3) в этом первоисточнике дано описание других существенных параметров или характеристик, которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности;
- 4) и там же дано описание других существенных параметров (характеристик) как самой процедуры такого метода, так и его описания;
- 5) но при этом отсутствуют описания других несущественных, но желательных параметров (характеристик) как самой процедуры такого метода, так и его описания. Так называемые «дополнительные параметры».

Например, для МА таким желательным параметром является: «удобство использования экспертного метода».

В случае если мы вводим подмножество (класс) рассматриваемой совокупности креативных экспертных методов, то на основе выделения новых существенных параметров и характеристик можно и нужно задать еще один уровень некорректности описания метода из подмножества (класса) рассматриваемой совокупности.

В качестве примера рассмотрим и выделим следующее подмножество (класс) такой совокупности креативных экспертных методов, как МА, в рамках процедуры которых рассматривается формализация корректировки постановки задачи или проблемы ЛПР по мере появления новой информации. Например, для классической мозговой атаки Осборна этот вопрос

не рассматривается, но в рамках такой разновидности МА, как «Четырехэтапная мозговая атака», он ставится и решается [12].

Полагаем, что экспертный метод не корректен на шестом уровне, если:

- 1) доступно описание этого метода по первоисточнику;
- 2) в этом первоисточнике дано описание важнейшего из существенных параметров (характеристик), который идентифицирует его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности (при условии, что его можно выделить);
- 3) и там же дано описание остальных существенных параметров (характеристик), которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод из выделенной совокупности;
- 4) и там же дано описание других существенных параметров (характеристик) как самой процедуры такого метода, так и его описания;
- 5) и там же дано описание других существенных параметров (характеристик) как самой процедуры такого метода, так и его описания, которые идентифицируют его как конкретный креативный экспертный метод, но уже из выделенного класса совокупности;
- 6) но при этом отсутствуют описания других дополнительных параметров (несущественных, но желательных параметров) как самой процедуры такого метода, так и его описания.

IX. Поясним трактовку девятого из списка используемых понятий: «вероятность решения задачи субъектом, использующего данный креативный метод».

Обычно методы используются для решения типовых, а не уникальных задач и гарантированно обеспечивают получение решения или результата, но для креативных методов ситуация качественно отличается. Используя мозговую атаку или дельфийскую процедуру, вы не имеете гарантий получения решения или результата, а лишь некоторую вероятность. Именно поэтому, на наш взгляд, для дальнейших исследований и практической работы будет полезно ввести понятие «вероятность решения задачи субъектом, использующего данный креативный метод». Точнее, ввести и в дальнейшем использовать это поня-

тие как параметр кортежа <Креативный метод, Задача, Субъект>. По аналогии с тем, что трудоемкость решения задачи рассматриваемым методом является параметром кортежа <Метод, Задача>. Под субъектом можно понимать как отдельного исследователя (участника процесса генерации), так и команду или научное сообщество в целом.

Гипотеза №1. Полагаем, что вероятность решения данным креативным методом задачи субъектом будет статистически устойчивой характеристикой, если рассматривать идеализированного субъекта, идеально корректно описанный креативный метод и поставленную задачу при фиксированных

- классе задач;
- уровней опыта и знаний субъектов, использующих этот креативный метод.

Использование такого понятия может быть полезно для обоснования выбора креативного метода при их сопоставлении, но в этом случае нужно ввести и в дальнейшем эффективно применять отношение, хотя бы частичного порядка на множестве креативных методов. С этой целью можно использовать введенное ранее понятие «уровень некорректности описания метода».

Х. Поясним трактовку десятого понятия из списка используемых: «модель».

В общем плане мы исходим из того, что любая модель – идеальная или материальная – является носителем информации о свойствах и характеристиках исходного объекта (объекта-оригинала), существенных для субъекта при решении им конкретного класса задач.

В рамках данного исследования мы будем рассматривать лишь вербальные нормативные (прескриптивные) модели. Напомним, что нормативные модели показывают не существующее, но желаемое. Именно нахождение и выделение существенных параметров и характеристик креативных методов позволит нам построить такие модели.

3. Разработка подхода к описанию экспертного креативного метода

Необходимо отметить, что мы моделируем метод, который описан в научной статье. В дальнейшем мы будем исходить из утверждения 3 и следующего постулата.

Постулат №8. Исходя из общего определения понятия модель, в рамках данного исследования полагаем, что общая модель метода должна состоять из отдельных составляющих моделей, число которых зависит от количества важнейших задач, стоящих перед автором (авторами).

В данном случае задача разработать новый креативный метод.

Утверждение №3. Необходимое условие адекватности модели потенциально возможной МА.

Полагаем, чтобы получить адекватную модель МА в случае, если автор разрабатывает новую разновидность МА, ему необходимо решить следующую совокупность задач:

1. Дать краткое описание на русском языке (аннотация).
2. Дать краткое описание на английском языке (аннотация¹).
3. Дать полное описание нового варианта метода, в данном случае МА, разработанной им, согласно правилам оформления статей для публикации в научном журнале (редакционные требования).
4. В случае если материал подготовил не автор разновидности МА, то дать полное описание его варианта метода.
5. Рассмотреть процедурную составляющую новой разновидности МА;
6. Рассмотреть дополнительную (не процедурную) составляющую новой разновидности МА².

Таким образом, мы приходим к следующим правдоподобным гипотезам:

¹ Англоязычный вариант аннотации в современных естественнонаучных журналах имеет свои особенности.

² Например, структура затрат на реализацию МА.

Гипотеза №2. Произвольную разновидность МА, представленную в виде научной статьи, невозможно представить в виде одной адекватной модели.

Гипотеза №3. Можно получить адекватную модель потенциальной разновидности МА, если ее представить в виде взаимосвязанной, иерархически организованной совокупности минимум пяти различных вербальных нормативных (прескриптивных) моделей, точнее их синкретической совокупностью состоящей из:

- 1) краткого описания (аннотации) на русском языке;
- 2) краткого описания (аннотации) на английском языке;
- 3) модели полного описания варианта МА, разработанной ее автором;
- 4) модели процедурной составляющей МА;
- 5) модели дополнительной (не процедурной) составляющей МА.

Необходимо отметить, что аннотация статьи как модель есть упрощенный вариант описания метода в вербальной форме и одновременно есть идентификационный параметр описания материала.

Для случая, если автор научной статьи создает новацию на основе уже существующей разновидности МА и будет ее публиковать в научном журнале, добавляется еще одна задача – дать, например, критический анализ существующей разновидности МА или выявить трудности ее реализации или сопоставить разные варианты МА или разработать модель произвольной разновидности МА. В этом случае различных задач и, соответственно, вербальных и нормативных (прескриптивных) моделей должно быть уже шесть. Их может быть и больше, если автор научной статьи о креативном методе использует в своем исследовании все четыре основных процесса и соответствующие процедуры. В таком случае можно рассматривать отдельно модели таких процедур, как подготовительного этапа и предварительной постановки задачи ЛПР и (или) заказчиком; генерации идей; анализ идей; принятия решений.

Приведем поясняющие примеры элементов каждой из моделей из сокращенного списка. Так, для модели:

– краткого описания (аннотации) на русском языке необходимо указать ее назначение, суть содержания, вид, форму и другие особенности;

– краткого описания (аннотации) на английском языке необходимо отразить наличие совокупности таких блоков как: введение, цели и задачи, используемые методы, полученные результаты, заключение;

– полного описания варианта МА, разработанной ее автором, одним из ее элементов является: «Автор (авторы) рассматриваемой разновидности МА»;

– полного описания варианта МА, подготовленного не ее автором, одним из ее элементов является: «Год первой публикации разновидности МА описываемой ее автором»;

– процедурной составляющей МА ее элементом является: «Время, отведенное на деятельность участников этапа генерации идей»;

– дополнительной (не процедурной) составляющей этого метода ее элементом, например, является: «Общая стоимость проведения рассматриваемого варианта МА»;

Отметим, что возможно частичное совпадение ряда элементов этих составляющих моделей. Например, в описании модели, которую разработал автор разновидности МА, название статьи у автора этой разновидности может не включать название его разновидности МА, а если и есть, то обычно одно. В описании же модели статьи обзорного характера, включающего эту же разновидность МА, но подготовленную другим исследователем, необходимо указывать все названия рассматриваемой разновидности МА, появившиеся и закрепленные в научной литературе (на русском и английском языках). Например, названия: мозговая атака или классическая мозговая атака (Brainstorms or Classical brainstorming) или метод «отнесенной оценки» или мозговой штурм. И это существующие варианты названий мозговой атаки, автором которой является Алекс Ф. Осборн [20].

3. Возможные направления дальнейших разработок

1. Необходимо мониторить понятийно-терминологический аппарат, используемый в вербальных моделях, полагая, что он должен постоянно изменяться в результате переосмысления традиционных и введения новых понятий, отражающих новые сущности и смыслы.

2. Выяснить принципиальную возможность представления системы таких понятий в виде связного ориентированного графа, не содержащего циклов¹.

3. Развить теоретическую настройку на базе нового понятия: «вероятность решения задачи субъектом, использующего данный креативный метод», введенного в рамках гипотезы № 1.

4. Заключение

В статье обоснована правомочность использования впервые рассматриваемого подхода к корректному описанию креативного экспертного метода. Для этой цели:

- разработан понятийно-терминологический аппарат обслуживающий разработанный подход;
- введены восемь постулатов и предложены три базовые гипотезы исследования;
- предложены необходимые и достаточные условия для идентификации произвольной разновидности МА (утверждение 1);
- предложено необходимое условие корректного описания произвольного экспертного метода (утверждение 2);
- предложено необходимое условие адекватности модели потенциально возможной МА (утверждение 3);
- обоснованно введены шесть уровней (балльных градаций) некорректности описания экспертного метода;

¹ Такая терминологическая структура предметной области была введена, например, в экспертологии [13].

– предложены и обоснованы условия построения адекватной модели потенциальной разновидности МА (гипотезы 2 и 3).

Предложены результаты возможных направлений дальнейших разработок подхода к корректному описанию экспертного метода.

Литература

1. БИМ-БАД Б.М. *Педагогический энциклопедический словарь*. М.: Большая рос. энцикл., 2002. – 528 с.
2. ВОЙШВИЛЮ Е.К., ПЕТРОВ Ю.А. *Язык и логика вопросов* // Сборник «Логика и методология научного познания» / Под ред. А.А. СТАРЧЕНКО. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – С. 147–158.
3. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 *Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения*. – М.: Госстандарт России. – Издание (март 2009 г.) с поправкой (ИУС 11-2003).
4. ГУСЕВ Д.А. *Логика*. Учебное пособие. – М.: Изд-во «Прометей», 2015. – 300 с.
5. ИСО 5725-1:1994 *«Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения»*.
6. КВЕЙД Э. *Анализ сложных систем*. – М.: Изд-во «Советское радио», 1969.
7. *Корректные и некорректные задачи* / А.Н. Тихонов // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
8. КОТЛЯР С.Б. *Модель коллективного принятия решения при локальном взаимодействии* // Труды VI Симпозиума по кибернетике. Ч. III. – Тбилиси: Ин-т кибернетики АН ГССР, 1972. – С. 98–99.
9. ПАНФИЛОВА А.П. *Мозговые штурмы в коллективном принятии решений: учебное пособие*. – М.: Изд.: ФЛИНТА, 2012. – 318 с.

10. РАЙЗБЕРГ Б.А., ЛОЗОВСКИЙ Л.Ш., СТАРОДУБЦЕВА Е.Б. *Современный экономический словарь*. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с. – URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/18513 (дата обращения: 23.08.2019).
11. СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В. *Пропорциональный метод экспертно-статистического оценивания трудоемкости инновационных проектов* // Вестник Московского Авиационного Института. – 2012. – Т. 19, №2. – С. 203–209.
12. СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В. *Четырехэтапная мозговая атака* // Проблемы управления. – 2014. – №1. – С. 36–44.
13. СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В. *Формирование понятийно-терминологического аппарата экспертологии* // Проблемы управления. – 2017. – №5. – С. 18–30.
14. СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В., САЛТЫКОВ С.А. *Процедура установления соответствия между задачей и методом* // Экономические стратегии. – 2008. – №7(65). – С. 102–109.
15. СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В., САЛТЫКОВ С.А. *Процедура отбора наиболее приемлемых разновидностей экспертных методов* // Управление большими системами. – 2010. – Вып. 30. – С. 35–66.
16. *Экспертные оценки в социологических исследованиях* / С.Б. Крымский, Б.Б. Жилин, В.И. Паниотто и др. / Отв. ред. С.Б. Крымский; АН УССР. Ин-т философии. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 320 с.
17. EILOART T. *Fanning the flame of innovation*. // New Scientist. — Vol. 43, 11 September 1969. – P. 536–538.
18. GORDON WILLIAM J.J. *Synecricts: The development of creative capacity*. – Harper & Row, 1961. – 180 p.
19. KKUNTZE F. *Von den neuen Denkmitteln der Philosophie* // In sechs Briefen an den Einzelnen und an die Philosophischen Arbeitsgemeinschaften. Heidelberg, Winter 1928. – Gr.-8vo. 8. – 262 s.
20. OSBORN A.F. *How to think up*. – McGraw-Hill, 1942. – 38 p.
21. <https://gtmarket.ru/concepts/6874> (дата обращения: 23.04.2019).
22. <https://iphlib.ru/greenstone3/library/collection/.../HASH0140b25e3b350ce9bc35a140> (дата обращения: 21.09.2017).

DEVELOPMENT AND THE REALIZATION OF APPROACH TO THE CORRECT DESCRIPTION OF THE EXPERT CREATIVE METHOD P. 1. DEVELOPMENT OF THE APPROACH

Yury Sidelnikov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, professor in Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow. Doctor of Engineering Sciences, professor (sidelnikov@mail.ru).

Abstract: The urgency of approach to the correct description of arbitrary expert creative method is substantiated by the need of increasing the effectiveness of the application of these methods. For this purpose it is also desirable to create the models of such methods for their correct comparison. As a result study of the research the approach to the correct description of expert creative method is developed. The eight postulates are proposed and three base hypotheses of a study are introduced. Are considered: 1. The necessary and sufficient conditions for the identification of the arbitrary variety of the brainstorm. (Mathematical assertion 1). 2. The necessary condition for the correct description of the arbitrary expert method (Mathematical assertion 2). 3. Necessary condition of the adequacy of the model of the potentially possible variety of the brainstorm (Mathematical assertion 3). Six levels (scale-number gradations) of the tactlessness of the description of expert method are introduced and their substantiation is given. For the first time the condition, which makes it possible to separate the totality of brainstorms from the totality of the varieties of the method of the focal objects, which have the identical mechanism of obtaining new information on the stage of the generation of ideas is examined. The conceptual apparatus for experiment on the theme in question is developed. Formal determinations of the concepts are in particular given: “essential parameter (characteristic) of procedural component of method” and “essential parameter (characteristic) of descriptive component of method”. Furthermore, the concepts: the identification, desirable and unessential parameters are introduced and are substantiated. Subsequently, on this basis, it is proposed to develop the adequate model of the potentially possible variety of a brainstorm.

Keywords: creative methods; model of description and procedure of the brainstorm.

УДК 519.816

ББК: 22.18

DOI: 10.25728/ubs.2020.83.2

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии В.Н. Бурковым.

Поступила в редакцию 09.01.2020.

Опубликована 31.01.2020.

СОЦИАЛЬНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Клименко Э. Ю.¹

(АО «Спецхимия», Москва)

Неизвестный С. И.²

(Российский государственный социальный университет,
Москва)

Шешуков М. А.³

(ООО «Ростелеком ЦТ», Москва)

Переход к цифровой экономике затрагивает практически все сферы деятельности человека. Цифровизация несет в себе много положительных, но сталкивается и с противодействиями, с отрицательными последствиями, которые связаны, прежде всего, с социальными проблемами современного общества. Как показывает опыт цифровизации в других странах, основными вызовами, с которыми она сталкивается, являются не технические, технологические проблемы, а социальные и методические. Так, наряду с проблемой утилизации высвобождающихся трудовых ресурсов, пожалуй, самой значимой становится проблема подготовки специалистов цифровой формации, обладающих новыми компетенциями, которые отсутствуют в перечне нынешних ФГОСов. Вызовы, связанные с переходом на цифровую экономику, представляются в формировании инновационного блока поведенческих компетенций специалистов, связанных со становлением личности, обладающей творческим креативным потенциалом, в нахождении оптимальных решений, их реализации и ответственности за последствия принятия решений. Проблемы цифровизации отражаются на эффективности управления цифровой экономикой в целом и на управлении ее автоматизированными системами в частности. Решение данных проблем ложится, прежде всего, на плечи системы образования – критической государственной инфраструктуры с отложенным результатом. Только в случае активной, полномасштабной качественной перестройки образовательного процесса сегодня мы сможем получить осязаемый результат через 5-7 лет. В качестве одного из результатов данной статьи приводится перечень областей знаний и компетенций, которые требует современный ИТ-бизнес от молодых специалистов цифровой экономики.

¹ Эдуард Юрьевич Клименко, к.ф.-м.н., зам. генерального директора (e.y.klimenko@mail.ru).

² Сергей Иванович Неизвестный, д.т.н., профессор (sergey@neizvestny.com).

³ Михаил Александрович Шешуков, директор программ (m.sheshukov@rtk-it.ru).

Ключевые слова: цифровая среда, автоматизированные системы, компетентности специалистов цифровизации, социальные проблемы, критическая государственная инфраструктура.

1. Введение

Переход к цифровой экономике и к цифровизации в целом – один из путей улучшения жизни человека, возможно, не лучший по сравнению, например, с биоинженерными технологиями, но относительно доступный в настоящее время. Цифровизация позволяет значительно повысить производительность труда, его качество и обеспечивать высокий уровень сервисных функций. Цифровая экономика дает возможность высвободить для человека значительное время и в этом смысле предоставить ему больше свобод. Она фундаментально изменяет не только операционную/производственную, однотипно повторяющуюся деятельность, но и многие виды управленческой и творческой деятельности. Сейчас на Западе происходит значительное высвобождение трудовых ресурсов в разных видах деятельности. Очень интенсивно идет замещение человеческого труда на цифровые инструменты и технологии в кадровом, бухгалтерском, управленческом учетах, биржевой деятельности (маклеры, брокеры, дилеры), роботы начинают замещать дворников, секретарей, водителей и многих других специалистов вплоть до таких сложных профессий как хирурги. Наблюдаются попытки замены преподавателей на робот-тьюторов, попытки кибернезации процесса воспитания. Активно внедряются цифровые технологии, позволяющие управлять инженерной инфраструктурой предприятий, зданий: электроэнергией, освещением, связью, теплом, газом и пр., внедряются системы «Умный дом». Кроме того, системы киберфизических устройств позволяют эффективно управлять инфраструктурой не только отдельных домов, но и жизнью целых кварталов, микрорайонов, городов и мегаполисов [24].

Однако при всех положительных сторонах цифровизация имеет и ряд отрицательных, существенной из которых является проблема утилизации высвобождающихся трудовых ресурсов. На государственном уровне при декларировании перехода

к цифровой экономике появляется содержательно-юридическая казуистика: массовое высвобождение трудовых ресурсов противоречит стратегии обеспечения социальной стабильности, системному обеспечению занятости трудоспособного населения. По оценкам специалистов, при экстенсивном переходе на цифровую экономику миллионы трудоспособных людей РФ будут уволены [13].

Решить эту проблему можно переводя трудовые ресурсы на выполнение творческих функций, туда, где не возможно полное замещение человека роботами и автоматизированными информационными системами (АИС). Очевидно, что необходимые компетенции специалистов разработки, внедрения и управления АИС принципиально отличаются от компетенций рядового ИТ-специалиста – исполнителя. Компетенции, связанные с развитием умственных навыков и поведенческой компетентностью, которые являются более социальными, чем технические, в условиях перехода к цифровой экономике становятся более востребованными [15]. Поведенческие компетенции (soft-skills) всегда будут необходимы в управлении, в системах принятия решений даже в условиях тотальной цифровизации и автоматизации. Хотя существуют примеры представления некоторых человеческих чувств в виде математических алгоритмов и формул (это удалось сделать в теории активных систем [2]), общую ответственность за принятие решений в АИС несут разработчики и управленцы верхнего уровня [3].

Цифровизация может вернуть человеку приоритет творческой составляющей в его труде. Изначально, от рождения в любом человеке присутствуют творческие способности. Промышленные революции, с одной стороны, позволили повысить производительность труда, с другой – привели к резкой дифференциации на людей, занимающихся творчеством, и людей, выполняющих однотипно повторяющиеся действия, приводящие к атрофии креативную составляющую в работе. Осознание этого явления позволит системно перейти к цифровизации, решая проблему безработицы, путем активизации заложенного в человеке от природы творческого начала и развития созидательной деятельности. Вернувшись к этим истокам, можно активизировать отношение к человеку как к личности, но не как к безду-

ховному исполнительному механизму. Естественно это требует от руководства перехода к цифровой экономике, прежде всего реинжиниринга управленческой культуры, организационного потенциала и системы формирования компетенций [3, 8, 20]. Игнорирование данного процесса в цифровизации бизнеса может дискредитировать самую суть цифровизации и привести к значительным социальным проблемам. Чтобы упредить данные проблемы, необходимо принципиально изменить систему формирования компетентности специалистов, вовлекаемых в процесс цифровизации, систему подготовки преподавателей. Современные тенденции к сокращению сроков обучения, к переходу на дистанционные формы, к замене педагогов на тренинг-роботов, использование вчерашних знаний, позавчерашних методологий и стандартов приводит к падению качества подготовки специалистов. А самая важная составляющая процесса образования, педагогического процесса – воспитание, формирование культуры жизнедеятельности в цифровой среде – выхолащивается. Воспитание тяжело поддается цифровизации.

2. Методика исследования, примененная в данной работе

Методика исследования социально-психологических проблем цифровизации использует междисциплинарный подход, методы анализа кросс-функционального взаимодействия. В целом в цифровой среде принципиально перестраиваются не только психологические, когнитивные функции (сосредоточение внимания, запоминание, анализ, принятие решения), но и социальные взаимоотношения.

Потоки больших данных (big data), быстрая смена форм и состава информации, её неоднородность, нерелевантность (шумы, ненужная визуальная, звуковая, тактическая), фундаментально влияют на творческие способности человека [23]. Чтобы человек смог адаптироваться к цифровой среде, ему необходимо дать азы поведения, психологических приемов, знания и навыки работы с цифровой информацией, с автоматизированными информационными системами, с искусственным интеллектом. Решение данной задачи требует принципиально новых междисци-

плинарных подходов, формируют новые требования к специалистам в информационных технологиях (ИТ), психологии, социологии, менеджменте, новые требования к программам обучения соответствующих специальностей ВУЗов.

3. Проблемы обеспечения занятости и подготовки кадров для цифровой экономики

Как говорилось выше, при переходе к цифровой экономике обостряется проблема обеспечения занятости населения. С одной стороны, цель цифровизации – замещение человека роботами, автоматами, автоматизированными системами, с другой стороны, цель государства и бизнеса – сохранение рабочих мест и создание новых. То есть главная проблема цифровизации – социальная, проблема утилизации трудовых ресурсов (до 2024 года – несколько миллионов трудоспособных людей) [13]. Решение ее ложится на плечи основной критической инфраструктуры государства – системы образования. Но эта критическая система – система с отложенным результатом на 5–7 лет. Как перевести работу этой системы с подготовки специалистов, качественно и быстро выполняющих типовые действия, к формированию компетентности творчества (к активизации способностей творчества, заложенных природой) и сформировать принципиально новые профессии? Проблема утилизации трудовых ресурсов при переходе к цифровой экономике связана с проблемой улучшения качества образовательного процесса средней и высшей школы, проблемой принципиального изменения системы подготовки специалистов цифрового общества.

4. Проблема отложенности результата работы системы образования как критической государственной инфраструктуры

В связи с переходом к цифровой экономике [16] в принятой в июле 2017 года Программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [14] приведены принципиально новые требования к кадрам, осуществляющим цифровизацию. Эти требования практически не пересекаются с перечнем компетенций, имею-

щихся во ФГОСах Министерства просвещения и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации [17]. Полноформатная реализация Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» требует принятия и внедрения по всей системе образования новых ФГОСов, отражающих потребности подготовки кадров для цифровой экономики. Однако система образования может дать результат отработки этих новых ФГОСов лишь через 5–7 лет в лучшем случае. В отличие от других критических государственных инфраструктур, дающих быстрый отклик на входные изменения, результаты системы образования, в силу их отложенности во времени, недостаточно значимо проявляются сиюминутно, но последствия некачественного и несвоевременного запуска новых образовательных процессов могут быть несопоставимо масштабнее и глобальнее всех результатов других критических инфраструктур вместе взятых.

5. Проблемы принятия решений и ответственности за них

Цифровизация может быть особенно продуктивной в становлении качественных производительных систем принятия решений. Эти системы могут быстро развиваться не только в сегменте оперативных онлайн-решений, но и в сегменте стратегического управления и управления инвестициями. Что касается последнего, то в реальном бизнесе формирование инвестиционного портфеля формально может быть сведено к решению задач экстремумов: достижения максимальной прибыльности проекта при минимуме вложений и времени возврата инвестиций. Процесс управления инвестициями может быть роботизирован и переведен на цифровые технологии. Однако де-факто при наличии АИС управления инвестициями окончательное принятие решений происходит с применением довольно дорогостоящего управленческого инструмента, например совета по инвестициям, причем они основываются на политических взглядах, личных симпатиях или антипатиях к руководству потенциального инвестиционного проекта и принимаются в кулуарах, а не на основе объективных расчетов макропараметров

проекта. Таким образом, процесс цифровизации инвестиционной деятельности, скорее всего, будет поверхностным и связанным со значительными внутренними транзакционными издержками.

В сложных многопараметрических внешних и внутренних условиях выполнения комплексных проектов, программ, портфелей принятие оптимального решения связано с оперированием большим количеством данных. В отсутствие цифровизации эти данные имеют разнородный, трудно анализируемый, порой несовместимый вид. Применение современных технологий цифровизации, таких как безбумажный документооборот, АИС, системы поддержки принятия решений, автоматизированные рабочие места, «большие данные», технологии таксономии, онтологии, бифуркационный анализ, конвергентные технологии, fuzzy-логика, искусственный интеллект (ИИ) и др., позволяю создать высокопродуктивные аналого-цифровые системы принятия решений.

Что касается цифровизации систем принятия тактических онлайн-решений, здесь управленческий человеческий ресурс может высвободиться и перейти от «ручного» (т.е. ситуационного реактивного) управления ситуацией к активному. Цифровизация позволит использовать системы киберменеджмента, которые по существу возьмут на себя не только полное управление технологическими процессами, но и в идеале управление *предприятием*.

6. Предварительные результаты анализа исследуемых проблем

6.1. ЧЕЛОВЕК В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ, ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА К МНОГОЗАДАЧНОСТИ ТРУДА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Как было сказано выше, переход к цифровой экономике означает передачу однотипных повторяющихся задач роботам, автоматам, а человеку все в большей степени отводятся творческие функции. В цифровизованной среде выполняющему творческие задачи человеку, окруженному компьютерами, телефонами, планшетами, в условиях быстроменяющихся больших по-

токов информации сложно глубоко погрузиться в решаемую проблему, сохранить однозначное направление мысли и, следовательно, принять верное решение. В последнее время многие работодатели предъявляют сотрудникам требование к способности многозадачной работы. Они желают заполучить, например, менеджера-цезаря. Это в значительной степени влияние известного мифа о том, что Юлий Цезарь мог выполнять одновременно несколько работ. Исследования когнитивистов, филологов и историков показали, что Цезарь в каждый конкретный момент выполнял только одну работу. Однако Цезарь мог, по сравнению с другими людьми того времени, сравнительно быстро переключаться от задачи к задаче. Это приводило к обманчивому впечатлению окружающих о многозадачных возможностях Цезаря [18]. Тем не менее многие современные руководители требуют от сотрудников и тайм-менеджеров фактически мгновенного переключения от одной задачи на другую. В естественной среде человек в среднем сосредотачивается на проблеме 3 минуты. В современных условиях экран компьютера, гаджета в среднем заставляют человека переключать внимание за 10–20 секунд. Способен ли человек справиться с такой когнитивной нагрузкой? Цифровая среда быстро приводит сотрудников к падению производительности творческого труда, к эмоциональному выгоранию. Информационные технологии, цифровизация жизни, снижают творческие способности, и, прежде всего, способности к эвристике (созданию приращения новых знаний).

Чтобы снизить рутинную когнитивную нагрузку, необходимо создавать программное обеспечение (ПО), меняющее структуру информации, ПО, берущее на себя значительные аналитические функции и входящее в коммуникационный контакт с человеком не чаще 3 минут по решению одной задачи: не двух или более задач, а именно одной. Чем меньше интервал между решением нескольких задач, тем менее глубоко мозг человека погружается в решаемую задачу. Мозг перестраивается на поверхностное решение, но так или иначе человек в подобной ситуации подвергается цифровому стрессу. Социальная стоимость цифрового стресса (творческого выгорания) приводят к значительному росту длительности больничных листов, к снижению

производительности творческого и, прежде всего, управленческого труда.

6.2. ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ СОЦИОФОБИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ

В эпоху цифровизации значительно обостряются психологические проблемы патологических зависимостей развивающихся в этой среде: компьютеромания, геймомания и пр. [4, 6]. Особенно подвержены этим «цифрозависимостям» дети и подростки, попадающие под влияние «цифры» через соцсети [7, 10]. Эти зависимости приводят к разного рода психическим расстройствам, ухудшению общего физического здоровья, неадекватности поведения, вплоть до форм жестокой агрессии и суицида [19, 22]. В некоторых странах зависимость от компьютера, Интернета официально внесли в список болезней, требующих профессионального лечения.

Наряду с подобными проблемами цифроманий, цифровая среда несет и проблемы «противоположного» толка – проблемы цифрофобий, которые на пути к цифровой экономике могут создавать существенно большие проблемы системного толка, чем цифромании.

Значительная часть людей имеет врожденные склонности к различного рода фобий. Относительно процессов цифровизации важно рассматривать фобии, влияющие на системный переход к цифровым технологиям, затрагивающие целые социальные слои населения. Это, прежде всего, компьютерофобия, роботофобия, аутоматонофобия (боязнь человеческих муляжей, искусственного человека), гипенгиофобия (боязнь ответственности), софофобия (боязнь обучения), социофобия (страх оценки окружающими), мониторофобия (боязнь наблюдения).

При переходе к цифровой экономике обостряются проявления социофобии – страхов, несущих угрозу социальному статусу человека или самооценке личности. С повсеместным внедрением цифровых инструментов, замещением человека во многих процессах у многих людей, прежде всего у управленцев разного уровня, возникает или усиливается опасение того, что кто-то (другой человек, робот, автомат и т.п.) может заместить его функции и он будет смещен с занимаемой должности или

даже уволен. Социофобия – сильнейший демотиватор перехода к цифровым технологиям, который в той или иной степени присутствует в каждом трудовом ресурсе.

Социофобии в цифровой экономике порождают так называемых луддитов – движения сопротивления механизмам, автоматам и роботам. Многие люди во время промышленных революций ощущают свою ненужность, полагают, что их перестают ценить. Луддиты видят в цифровизации угрозу «отбора хлеба» у трудящихся, а в современных условиях, по их утверждениям, цифровизация может привести к исчезновению пролетариата как социального класса современного общества.

Особое внимание решению проблем социофобии следует уделить в процессе подготовки специалистов для нужд цифровой экономики, поскольку социофобии напрямую влияют на формирование важнейшей компетентности образовательного процесса – самооценки обучающегося.

6.3. СОФОФОБИЯ – ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК ПРОЦЕССА ЦИФРОВИЗАЦИИ

Софофобия – страх перед обучением, перед процессом учения (не следует путать с боязнью информации – гнозиофобией). В процессе цифровизации высвобождаются значительные трудовые ресурсы: если не решить проблему их занятости, это приведет к социальной катастрофе. Самые действенные пути решения этой проблемы: 1) постепенное замещение «старых» ресурсов, на молодых специалистов, подготовленных системой образования для цифровой экономики; 2) переобучение занятых ресурсов для работы в измененных условиях цифровизации. Первый путь может занять 20–30 лет в условиях быстрой перестройки системы образования с ориентацией на потребности цифровой экономики. Второй путь может занять существенно меньше времени, но имеет значительные транзакционные издержки, прежде всего из-за того, что среднему и старшему поколениям свойственна софофобия, порожденная некорректной системой мотивации в процессах обучения, в основе своей построенных на принципах наказания за ошибки и неуспех освоения знаний. Но больший страх у этих людей вы-

зывает дальнейшее нетрудоустройство. Большая часть потенциально высвобождающихся трудовых ресурсов будет реально сопротивляться процессам переобучения, освоения других профессий, предполагая свою дальнейшую невостребованность. В условиях так называемой рыночной экономики, в условиях капитализма, цифровизация обречена на фрагментарность, поскольку обязана сохранить переизбыток рынка труда. В этом смысле капитализм с его цифровой экономикой является асоциальной сущностью, приводящей к увеличению разрыва между богатыми и бедными.

Очевидно переход к цифровизации жизни, к цифровой экономике ставит новые требования к преподаванию ИТ, психологии, социологии, менеджмента.

Как показано в Распоряжении Правительства РФ №1632 [14], цифровизация нуждается в большом количестве высококвалифицированных, профессионально подготовленных выпускников ВУЗов. Особое внимание при переходе на цифровую экономику уделяется привлечению высокоодаренных детей. Система образования должна тщательно вовлекать эту специфическую социальную группу в процесс подготовки компетенций для цифровой экономики. У одаренных детей высокая мотивация достижения и мотивация компетентности, являющихся базовыми в саморазвитии [5]. Цифровизация специфически может действовать на одаренных детей. Одаренные дети имеют особенностей развития эмоциональной сферы, что проявляется в повышенной уязвимости. Источником уязвимости в этих случаях является сверхчувствительность, которая обусловлена особенностями интеллектуального развития [11].

6.4. ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ КУЛЬТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ВРЕМЕНЕМ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Современные информационные технологии, среда цифровизации формируют новые тренды развития профессионалов, работающих в этой среде, переориентируют нагрузки на мозг, что приводит к когнитивным функциональным изменениям. «Продвинутые айтишники» все больше используют цифровые инструменты, например, гаджеты с диктофонными и видеозапи-

сывающими функциями, аудиоинтерфейсы («Алиса», «Hello Google» и др.), разгружая мозг. Эти профессионалы находятся под ложной, мифической предпосылкой о том, что объем памяти мозга ограничен и что им надо высвободить память, передавая ее функции цифровым средствам и ИТ. Хотя когнитивисты приходят к заключению о том, что ресурсы мозга в запоминании безграничны [1], но люди путают утомляемость в процессе умственных перегрузок с действием ограниченности объема памяти.

В целом работе в цифровой среде характерна быстрая утомляемость, неврозоподобные расстройства (слабость, вялость, утомляемость, раздражительность), головные боли, нарушения сна. Появляется рассеянность, дефекты внимания. Появляются аффективные нарушения в виде депрессивных переживаний. Развивается частичная атеросклеротическая деменция с преобладанием расстройств памяти. Как показали недавние исследования, в США у профессиональных программистов, много и интенсивно работающих в течение полных 8 рабочих часов, со временем наблюдаются признаки когнитивных патологий, среди которых слабо прогрессирующая деменция [12, 21]. При фронтальном переходе к цифровизации в Китае опыт обедненных сиест в областях занятости с высокими физическими нагрузками перенесли на ИТ-отрасли, наукоемкий труд и смежные области. Во многих ИТ-организациях Китая официально разрешен, а в некоторых предписан 30-минутный сон в обеденное время. Как показали исследования китайских психологов, это привело к значительному повышению качества и производительности труда. Цифровая среда является одной из причин гиподинамии, застойных процессов в организме и, как следствие, – набора избыточного веса и сопровождающего его букета трудноизлечимых болезней. Ожирение и сопутствующие болезни по данным ВОЗ является следствием современного образа жизни: в развитых и развивающихся странах, в связи с переходом на цифровую экономику без предварительных подготовительных процессов, происходит систематическое снижение здоровья наций.

В процессе подготовки к системному переходу к цифровой экономике необходимо разработать и внедрить ряд упреждаю-

щих мер, прежде всего в области подготовки и формирования пула специалистов с требуемыми для решения данной проблемы компетенциями. Это относится не только к специалистам в области медицины, работающих со следствиями перехода на цифровую экономику, сколько к специалистам в области социальных наук, психологии, культурологии, менеджмента. Значительная нагрузка в борьбе со злом 21-го века – гиподинамией, переутомляемостью, развития неврозов и психопатологий, ложится на корпоративную культуру, которая кардинально должна изменить режим производственных графиков работы участников цифровой экономики. В идеальном случае корпоративная культура должна организовать деятельность человека в цифровой экономике, совмещая умственную и физическую нагрузки. Необходимо фундаментально изменить культуру управления, переходя от управления через непрерывные совещания, заседания, технологии «фотографии рабочего дня», DLP¹, прерогативы режима восьмичасового присутствия в офисе за рабочим местом. Принципиально должна измениться культура учета рабочего времени: тайм менеджмент должен быть системно изменен, начиная от традиционных форм табельного учета, от набирающего обороты унизительного тайм-шитинга до формирования культуры доверия, культуры планирования на местах, культуры самодостаточности и саморазвития [9]. Переход к цифровой экономике должен упреждаться созданием высокоэффективной духовной, физической и бизнес культурой.

6.5. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ, КОТОРЫХ ТРЕБУЕТ СОВРЕМЕННЫЙ ИТ-БИЗНЕС В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Как говорилось выше, важнейшей компетентностью образовательного процесса является способность самооценки обучающегося. В данной работе проводилось исследование компетентности начинающих руководителей проектов (программ проектов) цифровизации в основном среди выпускников факультета

¹ *Data loss prevention – системы пошагового тотального контроля действий сотрудников в цифровой информационной среде предприятия.*

информационных технологий (ФИТ) РГСУ, имеющих стаж работы от двух до пяти лет. На рис. 1 приведен пример уровней компетентности поведенческих компетенций в управлении проектами (УП) начинающего руководителя проектов цифровизации по результатам применения метода «Оценка-270», включающего самооценку, оценку коллег и оценку руководителя.

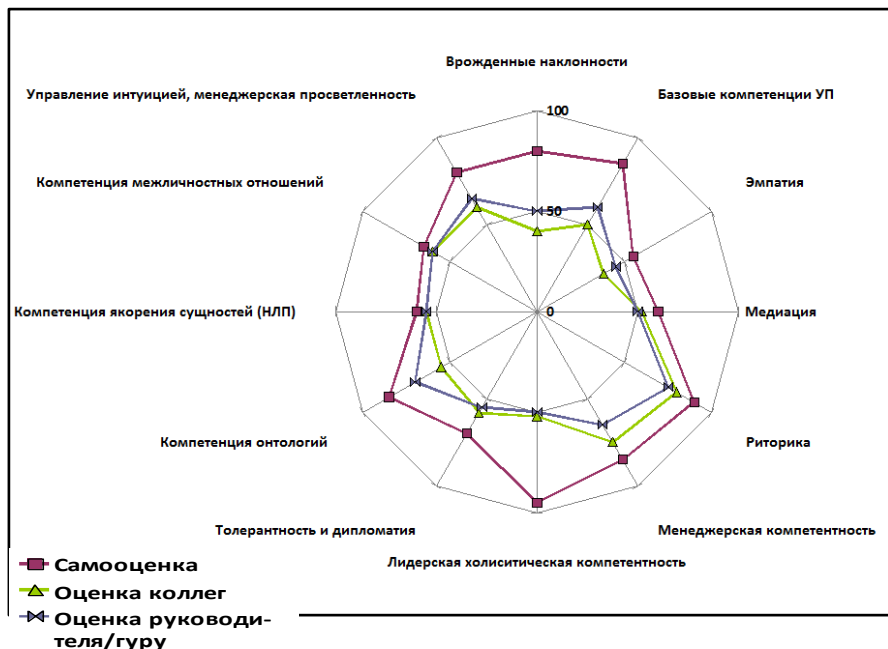


Рис. 1. Компетентность начинающего руководителя проектов цифровизации

Особое значение в управлении программами проектов в условиях неопределенности приобретают следующие компетенции:

- врожденные наклонности;
- базовые компетенции управления проектами (компетенции целеполагания и целедостижения);
- эмпатия;
- медиация;

- риторика;
- менеджерская компетентность;
- лидерская холистическая компетентность;
- толерантность и дипломатия, управление потоками информации;
- компетенция онтологий;
- компетенция якорения сущностей (НЛП);
- компетенция межличностных отношений;
- управление интуицией, менеджерская просветленность.

Кроме исследований вышеуказанных компетентностей, в рамках обратной связи между системой обучения на ФИТ РГСУ и ИТ-бизнесом был проведен опрос работающих молодых специалистов и работодателей по проблеме определения областей знаний, недостающих выпускникам для полноценного включения в работу после завершения учебы в ВУЗе¹.

Приводим часть результатов этого опроса, касающуюся необходимых для практического бизнеса областей знаний и компетенций, отсутствующих или фрагментарно представленных во ФГОСах Министерства науки и высшего образования РФ. Период проведения опроса: 2018–2019 гг. Перечень дается без ранжирования по значимости для ИТ-бизнеса²:

- ресурсное планирование в ИТ-процессах;
- бюджетирование в ИТ-бизнесе цифровой экономики;
- функции ролей в ИТ-подразделении современного предприятия;
- планирование и организация работ ИТ-подразделения;
- планирование и организация работ службы информационной безопасности;
- системы формирования и оценки компетентности сотрудников ИТ-подразделения;
- основы наставничества и саморазвития в ИТ-индустрии;

¹ На практике это формулировалось в виде вопроса: «Чего не хватает выпускнику, чтобы не слышать фразу работодателя при приеме на работу «Забудьте все, чему вас учили в ВУЗе»?

² Авторы не редактировали перечень на предмет частичного перекрытия или дублирования областей знаний и компетенций.

- организация систем корпоративного обучения цифрового общества;
- управление ИТ-проектами цифровизации;
- управление проектами разработки, внедрения и развития кибер-систем принятия решений;
- основы управления эксплуатацией и развитием информационных систем на основе ИИ;
- сертификация и лицензирование ИТ-систем и предприятия;
- развитие организационного потенциала в ИТ-бизнесе;
- основы мотивации в управлении активными системами;
- введение в технологии HP PPMС, MS Project, Primavera, PRINCE-2, BP Win, ARIS;
- основы таксономии в ИТ;
- ИТ-онтологии;
- основы ИТ-тестологии;
- введение в ИТ-маркетинг в цифровой экономике;
- основы психоанализа и НЛП (включая технологии «якорения», эмпатии, медиации);
- введение в SWOT-анализ и SMART-методы в цифровизации;
- верификация ИТ-контента;
- основы формирования корпоративной культуры и профессиональной этики (дается фрагментарно и в не востребовавном бизнесом виде);
- бирюзовые организации цифрового общества;
- основы методологического обеспечения ИТ-офиса (ИТ-бизнеса) цифровой экономики;
- основы холистического и сетевого менеджмента;
- экстремальное и параллельное программирование;
- ИТ-технологии Agile, Canban, Lean, Scrum («гибкие технологии УП»);
- формирование базы знаний, экономика знаний и системы управления знаниями ИТ-предприятия цифрового общества;
- основы системной интеграции и смарт-технологии цифровой экономики;

- облачные технологии в цифровизации;
- семиотическая и бионическая робототехника;
- введение в технологии искусственного интеллекта;
- индустриализация обучения с помощью искусственного интеллекта;
- эксафлопные технологии;
- введение в технологии цифровой экономики;
- основы принятия решений в киберменеджменте;
- введение в теорию интегрированных систем;
- обеспечение кибербезопасности цифровой экономики;
- управление целополаганием и целедостижением проектов цифровизации;
- технологии и методологии EPC, EPCM, CII, IRMS;
- введение в импортозамещение в ИТ-бизнесе цифровой экономики.

7. Обсуждение. Проблемы обретения новых компетенций в подготовке специалистов для цифровой экономики

Одной из серьезнейших социальных проблем цифровизации является безработица. Причем масштабы ее будут тем больше, чем ниже текущий требуемый уровень компетентности на тех или иных позициях процесса деятельности человека.

Цифровизация может усилить процесс текучести кадров. Уже сейчас наблюдается массовая тенденция на предприятиях корпоративных учебных центров, ВУЗах к снижению ответственности работодателя перед сотрудниками: большая их часть переводится на краткосрочные контракты, стимулируется переход на «одноразовых» работников. В этой обстановке говорить о формировании коллективных компетенций, коллективной базы знаний, культуры управления – не приходится. С другой стороны, цифровизация приведет к снижению ответственности руководства с передачей ее цифровым инструментам, ИИ.

Выстраивая высокопрозрачные процессы работы с информацией на нижних уровнях, цифровизация повышает значимость доверия на верхних уровнях ее применения. Таким обра-

зом, высокая эффективность цифровизации в целом определяется не качеством и профессионализмом цифровых технологий и инструментов, а качеством бизнес культуры, социально-психологическими условиями. Технологически переход на цифровую экономику возможен на уже существующем уровне развития ИТ, однако основными препятствиями для этого перехода являются этические, социально-психологические проблемы, решить которые возможно посредством перестройки системы подготовки специалистов и системы образования в целом. Критической государственной инфраструктурой при переходе на цифровую экономику является система образования – инфраструктура с отложенным результатом на 5–7 лет. Если сейчас начать кардинально изменять систему образования – систему подготовки педагогов, систему формирования и развития компетентности специалистов цифровизации – то через 5–10 лет возможен системный переход к цифровой экономике. Пока же, в силу системно сопровождающих цифровую экономику социально-психологических, культурологических проблем, можно говорить о создании ее выборочных отдельных фрагментах.

8. Заключение

Цифровизация влечет за собой изменение соотношения между физическим и умственным трудом, перестройку структуры, содержания многих видов компетенций и уровней компетентности трудовых людских ресурсов, изменение в подготовке специалистов, неизбежно трансформирует социальные отношения.

Цифровизация усиливает процессы глобализации и при сохранении текущих тенденций рыночной экономики в мире будет приводить к дальнейшему увеличению расслоения общества на богатых и бедных, что может привести к значительному ухудшению социальной безопасности.

В целом внедрение цифровизации – это не техническая проблема, а методологическая и социальная.

Литература

1. АНОХИН К.В. *Возможности нашей памяти безграничны*. – 2010. – URL: <https://drugmudrosti.livejournal.com/11829.html> (дата обращения: 12.09.2018).
2. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Введение в теорию активных систем*. – М.: ИПУ РАН, 1996. – 125 с.
3. БУРКОВ В.Н., БУРКОВА И.В. *Цифровая экономика и умные механизмы управления* // Управление проектами и программами. – 2018. – №2(54). – С. 118–125.
4. ВОРОБЬЕВА И.В., КРУЖКОВА О.В. *Социально-психологические аспекты восприимчивости молодежи к воздействиям среды Интернет* // Образование и наука. – 2017. – Т. 19, №9. – С. 86–100.
5. ГОРДЕЕВА Т.О. *Мотивационные предпосылки одаренности: от модели Дж. Рензулли к интегративной модели мотивации* // Психологические исследования: электрон. науч. журн. – 2011. – №1(15). – URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: 11.09.2018).
6. ГРАЧЕВ А.А. *Теоретические и методологические основания прикладной психологии* // Психол. журнал. – 2013. – Т. 34, №1. – С. 15–24.
7. ЕЖЕВСКАЯ Т.И. *Психологическое воздействие информационной среды на современного человека* // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2009. – №2(37). – С. 38–41.
8. КЛИМЕНКО Э.Ю., НЕИЗВЕСТНЫЙ С.И. *Трансформация управления проектами в цифровой экономике* // Управление проектами и программами. – 2018. – №2(54). – С. 110–117.
9. КУДРЯВЦЕВА М. *Как компании следят за каждым шагом сотрудников*. – 2016. – URL: https://www.dp.ru/a/2016/05/12/Как_kompanii_sledjat_za_ka (дата обращения: 12.11.2018).
10. РАССАДИНА Т.А. *Интернет-зависимость: информационно-коммуникативный аспект* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2015. – №2(34). – С. 98–111.

11. СУДНЕВА О.Ю. *Одаренные дети: особенности и сложности развития* // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2012. – №11(19). – URL: <http://sisp.nkras.ru> (дата обращения: 11.09.2018).
12. ЧИБИСОВ С.М., АГРАВАЛ Р.К., КУДРЯШОВА Г.А. и др. *Хроноструктура циркадианного ритма АД и ЧСС у «Сов» и «Жаворонков* // Здоровье и образование в XXI веке. – 2009. – Т. 11, №4. – С. 196–198.
13. *Работники в возрасте от 45 до 55 лет будут уволены*. Открытое правительство. – 20.11.2017. – URL: <http://econbez.ru/news/cat/22727> (дата обращения: 28.12.2018).
14. *Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»* / Распоряжение от 28 июля 2017 года №1632-р. – URL: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 6.09.2018).
15. *Топ-10 soft skills навыков востребованных работодателями* / HR-Portal. – 03.07.2017. – URL: <https://hr-portal.ru/article/top-10-soft-skills-navykov-vostrebovannyh-rabotodatelayami> (дата обращения: 12.08.2019).
16. *Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы»*. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 14.08.2019).
17. *Федеральные государственные образовательные стандарты* / Министерство просвещения; Министерство науки и высшего образования. – URL: <https://fgos.ru/> (дата обращения: 15.08.2019).
18. GOLDSWORTHY A. *Caesar: Life of a Colossus*. – Yale University Press, 2006. – 583 p.
19. GOWDA C.R., LUNDT L.P. *Mechanism of action of narcolepsy medications* // Continuing Medical Education Suppl. – 2014. – Vol. 19, No. S1. – P. 25–34.
20. KUPRIYANOVSKY V., DUNAEV O., FEDOROVA N., NAMIOT D., KUPRIYANOVSKY Yu. *On intelligent mobility in the digital economy* // Int. Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Vol. 5. No. 2. – P. 46–63.

21. LANGA K.M., LARSON E.B., CRIMMINS E.M. et al. *A Comparison of the Prevalence of Dementia in the United States in 2000 and 2012* // JAMA Internal Medicine. – 2017. – Vol. 177. – P. 1–51.
22. MIGNOT E.J.M. *A practical guide to the therapy of narcolepsy and hypersomnia syndromes* // Neurotherapeutics. – 2012. – Vol. 9(4). – P. 739–752.
23. *Russia 2025: from personnel to talent* / Sberbank-Boston Consulting Group. – October 2017. – URL: <http://marketing-course.ru/wp-content/uploads/2017/11/Sberbank-BCG-issledovanie.pdf> (дата обращения: 20.11.2018).
24. *Songdo – Smart City* / International Business District. – URL: <http://www.businessinsider.com/songdo-south-korea-design-2017-11/#fifteen-miles-of-bike-lanes-go-through-the-district-connecting-to-a-larger-90-mile-network-in-songdo-city-4> (дата обращения: 14.11.2018).

SOCIAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF FORMATION OF COMPETENCES OF SPECIALISTS OF MANAGEMENT OF AUTOMATED SYSTEMS OF DIGITAL ECONOMY

Eduard Klimenko, JSC "Special Chemistry", Moscow, Cand.Sc., Deputy General Director (e.y.klimenko@mail.ru).

Sergey Neizvestny, Russian State Social University, Moscow, Doctor of Science, professor (sergey@neizvestny.com).

Mikhail Sheshukov, LLC "Rostelecom CT", Moscow, Program Director (m.sheshukov@rtk-it.ru).

Abstract: The transition to the digital economy affects almost all spheres of human activity. Digitalization brings a lot of positive things, but it also faces counteractions, with negative consequences, which are connected, first of all, with the social problems of modern society. As the experience of digitalization in other countries shows, the main challenges it faces are not technical, technological problems, but social and methodological ones. Thus, along with the problem of utilization of the released labor resources, perhaps the most significant is the problem of training specialists of the digital formation with new competencies that are not in the list of current Russian Federal State Standards of Education. The challenges associated with the transition to the digital economy are presented in the formation of an innovative block of behavioral competencies of specialists associated with the formation of a person with creative potential, in finding optimal solutions, their implementation and responsibility for the consequences of decision-making. The problems of

digitalization affect the efficiency of the digital economy in general and the management of its automated systems in particular. The solution of these problems lies, first of all, on the shoulders of the education system – a critical government infrastructure with a delayed result. Only in the case of an active, full-scale qualitative restructuring of the educational process today, we will be able to get a tangible result in 5-7 years. As one of the outcomes of this article is a list of areas of knowledge and competencies that require modern IT-business from young professionals of the digital economy.

Keywords: digital environment, automated systems, competence of specialists of digitalization, social problems, critical government infrastructure.

УДК 005.3 + 37.014

ББК 74.6

DOI: 10.25728/ubs.2020.83.3

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Ю.В. Сидельниковым.*

*Поступила в редакцию 21.01.2020.
Опубликована 31.01.2020.*

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ НАВОДНЕНИЙ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
И ТЕРРИТОРИЯХ**

Цвиркун А. Д.¹, Резчиков А. Ф.²
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Кушников В. А.³, Иващенко В. А.⁴
Филимонюк Л. Ю.⁵, Богомолов А. С.⁶

(Институт проблем точной механики и управления РАН,
Саратов)

Хамутова М. В.⁷

(Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
Саратов)

На основе системного анализа проблемы управления процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях выполнена постановка задачи управления данным процессом. Предложено решение поставленной задачи на базе методологии системной динамики: определены основные характеристики последствий наводнений, построен ориентированный граф причинно-следственных связей, разработана математическая модель, представленная системой нелинейных дифференциальных уравнений, предложена методика, позволяющая уменьшить временную сложность разработанной модели. Проверка адекватности разработанного математического обеспечения осуществлена посредством сравнения результатов решения полученной системы уравнений с реальными данными по наводнению в Приморье в 2001 году. Разработан алгоритм решения задачи управления, в котором управляющие воздействия представлены в виде планов мероприятий, направленных на уменьшение ущерба от наводнений. Разработан про-

¹ Анатолий Данилович Цвиркун, д.т.н., профессор (tsvirkun@ipu.ru).

² Александр Федорович Резчиков, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (iptmuran@san.ru).

³ Вадим Алексеевич Кушников, д.т.н., профессор (iptmuran@san.ru).

⁴ Владимир Андреевич Иващенко, д.т.н., с.н.с. (iptmuran@san.ru).

⁵ Леонид Юрьвич Филимонюк, д.т.н., н.с. (iptmuran@san.ru).

⁶ Алексей Сергеевич Богомолов, к.ф.-м.н., н.с. (iptmuran@san.ru).

⁷ Мария Васильевна Хамутова (mariuka7d@rambler.ru).

граммный комплекс, позволяющий определить характеристики последствий наводнений, влияющих на величину ущерба. Он предназначен для эксплуатации в составе существующих систем управления процессами ликвидации последствий наводнений объектового и территориального уровня. Разработана структура комплекса технических средств системы управления процессом ликвидации последствий наводнений. Сформирована информационно-логическая схема, иллюстрирующая основные этапы реализации разработанного математического обеспечения в структурных подразделениях системы МЧС объектового и территориального уровня.

Ключевые слова: управление процессом ликвидации последствий наводнения, математическая модель, системная динамика.

1. Введение

Наводнения являются одним из самых распространённых стихийных бедствий и составляют 19% от общего числа природных катастроф. Наводнения, в том числе и катастрофические, стали происходить все чаще по всему миру, что связано с глобальным потеплением, ростом населения, уничтожением лесных массивов и ростом масштабов хозяйственной деятельности человека. Наводнения причиняют материальный ущерб, наносят вред здоровью населения, приводят к людским потерям и наблюдаются по всей территории Российской Федерации [1, 21].

Предотвратить наводнение невозможно, но ослабить и минимизировать возможные последствия вполне возможно. Для этого требуется эффективное управление процессом ликвидации последствий наводнений [7].

Отсюда следует, что создание моделей и алгоритмов управления процессом ликвидации последствиями наводнений является актуальной проблемой. Исследованиям на данную тему посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов, в частности работы В.В. Кульбы [2], Б.Н. Порфирьева, А.Ф. Резчикова, С.К. Шойгу, В.А. Акимова [5], М.А. Шахрамьяна, С.В. Борща [3], К. Sene [22], Т.Е. Adams, Т. Pagano [15] и др. В них рассматриваются вопросы управления в чрезвычайных ситуациях (ЧС), моделирования, разработки систем мониторинга и прогнозирования наводнений, а также построения со-

ответствующих информационных систем управления [2, 3, 6, 7, 15, 16, 22].

Однако проблема разработки моделей и алгоритмов для управления процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях требует дальнейших исследований, которые позволят существенно повысить оперативность и качество принимаемых решений.

В рамках системного анализа последствий наводнений был проведен обзор существующих моделей и методов систем прогнозирования и мониторинга наводнений РСЧС: методы определения площади зоны затопления, позволяющие моделировать динамику поверхностных вод на произвольном рельефе местности [8]; методы определения площади зоны затопления, основанные на ГИС-технологии, позволяющие создавать трехмерную реконструкцию поверхности исследуемой территории; гидрологические методы расчета гидрографа для определения расхода воды и уровня (глубины) воды; методы, основанные на уравнении водного баланса, и т. д. Гидрологические параметры и площадь затопления, полученные из указанных моделей и методов, в дальнейшем могут быть использованы для определения количественных значений последствий наводнений, что позволит повысить эффективность процедуры управления.

2. Решение задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений

2.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Постановка задачи базируется на следующих допущениях, которые, по мнению ряда сотрудников МЧС, выполняются для значительного числа наводнений, возникающих на территории РФ.

– Рассматриваются наводнения, регулярно или довольно часто возникающие на контролируемых объектах и территориях (например, частичное затопление отдельных районов г Аткарска Саратовской области рекой Медведица в весенний период).

– Привлекаемые к ликвидации последствий наводнений силы МЧС имеют достаточно ограниченные ресурсы, что

не позволяет им полностью исключить ущерб от затопления объектов и территорий. В условиях ограниченности располагаемых ресурсов добиться снижения ущерба, по мнению специалистов МЧС, возможно в основном за счет повышения оперативности и качества принимаемых управленческих решений, оформленных в виде соответствующих планов мероприятий.

– У руководителей и специалистов структурных подразделений МЧС сложилось устоявшееся мнение о величинах основных характеристик последствий наводнения X_i^* , $i = \overline{1, n}$, при достижении которых ущерб будет наименьшим возможным. В дальнейшем эти величины именуется рекомендованными значениями характеристик последствий наводнения.

– Ущерб от наводнения пропорционален взвешенной сумме отклонений текущих значений характеристик последствий наводнения $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, от их рекомендованных значений X_i^* , $i = \overline{1, n}$, так как с ростом отклонений $X_i^* - X_i(t)$ или возрастают отдельные виды ущерба, или менее эффективно используются достаточно ограниченные ресурсы служб МЧС, что приводит к их быстрому исчерпанию.

Сформулируем постановку и общий подход к решению задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях. Для информационно-управляющих систем МЧС объектового и территориального уровня разработать формальные модели и алгоритмы, позволяющие на временном интервале $t \in [t_0; t_N]$ найти управляющие воздействия (УВ) $p(t) \in P$, минимизирующие целевую функцию

$$(1) \quad Z(p(t)) = \int_{t_0}^{t_N} \sum_{i=1}^n (X_i^* - X_i(t, p(t)))^2 \gamma_i dt$$

при ограничениях:

$$(2) \quad \frac{dX_i(t)}{dt} = f(t, p(t), X_1(t), \dots, X_n(t)), \quad i = \overline{1, n}, \quad t > 0,$$

$$X_i(t) > 0, \quad i = \overline{1, n},$$

и граничных условиях:

$$(3) F_i^{t_0}(X, X', p) = 0, F_j^{t_N}(X, X', p) = 0, i = \overline{1, k_1}, j = \overline{1, k_2},$$

где X_i^* – рекомендованные значения характеристик последствий наводнения, нормированные относительно максимальных значений; $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, – текущие значения характеристик последствий наводнения, также нормированные относительно максимальных значений; γ_i – весовой коэффициент i -й характеристики.

С учетом сделанных допущений физический смысл задачи заключается в выборе из существующих планов мероприятий такого плана, при реализации которого взвешенная сумма отклонений основных характеристик последствий наводнения от их рекомендованных значений будет наименьшей возможной, что приведет к снижению ущерба.

На рис. 1 представлена схема управления процессом ликвидации последствий наводнений.

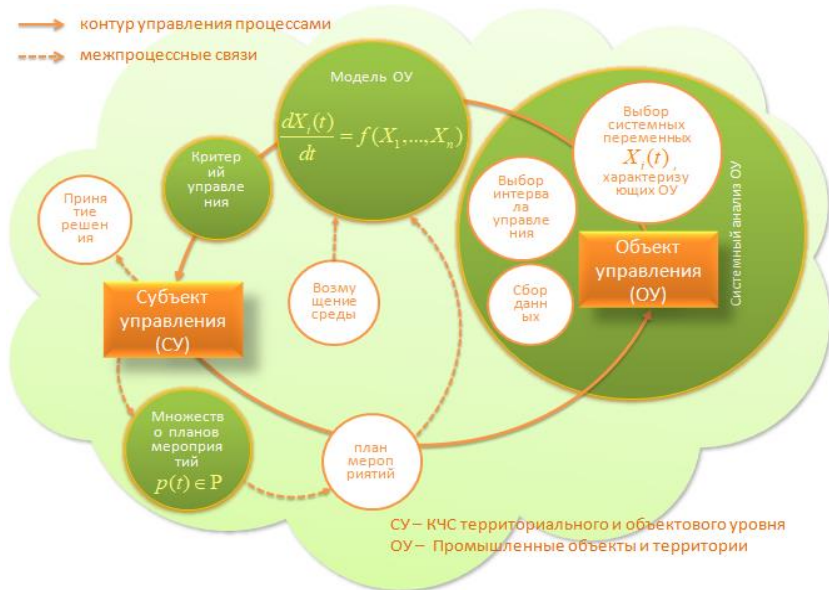


Рис. 1. Схема управления процессом ликвидации последствий наводнений

Представленная схема демонстрирует основные этапы решения задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях.

2.2. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

При решении задачи (1)–(3) используют нелинейные дифференциальные уравнения в рамках системно-динамического подхода, получившего большое распространение при описании поведения многих структурно сложных систем [4, 10]. Целесообразность использования данного подхода при решении поставленной задачи обусловлена в первую очередь тем обстоятельством, что между переменными $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, существует большое количество положительных и отрицательных линейных и нелинейных обратных связей (рис. 2).

В соответствии с [4] в основу системно-динамического подхода положены допущения, позволяющие перейти от известной, широко распространенной модели динамической системы

$$(4) \quad \frac{dI_j}{dt} = F_j(I_1, \dots, I_n), \quad j = 1, \dots, n,$$

к системе вида

$$(5) \quad \frac{dI_j}{dt} = \alpha_{j,0} + \sum_{k=1}^n \alpha_{j,k} \prod_{l=1}^n \omega_{j,k,l}(I_l) I_k, \quad j = 1, \dots, n.$$

Вопрос правомерности перехода в общем случае решается следующим образом. Если экспериментальное изучение исследуемого явления покажет, что система (5) описывает его достаточно адекватно (т.е. если удастся в процессе вычислительных экспериментов подобрать коэффициенты $\alpha_{j,k}$ и зависимости темпов от уровней $\alpha_{j,k}(I_1, \dots, I_n) = \alpha_{j,k} \omega_{j,k,1}(I_1) \dots \omega_{j,k,n}(I_n)$, $j, k = 1, \dots, n$, таким образом, чтобы величины моделируемых переменных совпадали с экспериментальными данными), то эта система может использоваться для прогнозирования значений характеристик исследуемого явления.

Произведения функций в правых частях нелинейных дифференциальных уравнений – это, как правило, полиномы невы-

соких степеней, которые характеризуют «силу» причинно-следственной связи между двумя переменными (причиной и следствием). Они определяются на стадии адаптации модели к конкретному объекту либо с использованием регрессионных моделей или метода аппроксимации, полученных из обработки соответствующей статистической информации; либо, исходя из физического смысла моделируемого явления, либо подбором. При этом расхождение на предыстории между реальным значением прогнозируемой функции и ее моделируемой величиной должно быть не более допустимого. Возможно комбинирование указанных способов, причем решающим является выполнение последнего условия.

В процессе адаптации разработанного математического обеспечения к условиям функционирования конкретной системы управления при выборе каждой из указанных выше функций анализируется область ее допустимых значений и накладываются ограничения на область определения функции.

Непосредственно перед этапом практического использования модели (5) происходит сравнение результатов расчета с известными из практики значениями моделируемых переменных и при значительных расхождениях модель корректируется.

Многолетняя практика применения системно-динамического подхода различными группами зарубежных и отечественных исследователей (Дж. Форрестер, Д. Медоуз, Ю.И. Бродский, Ю.Н. Павловский, Г.Г. Малинецкий и др.) показала, что весьма широкий класс различных явлений может быть описан в виде системы (5).

Исходя из вышеизложенного, в основу построения модели положен математический аппарат системной динамики, в соответствии с которым моделируемый объект описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка

$$(6) \quad \frac{dX_i(t)}{dt} = X_i^+ - X_i^-, \quad i = \overline{1, n},$$

где X_i^+ , X_i^- , $i = \overline{1, n}$ – непрерывные или кусочно-непрерывные функции, определяющие положительную и отрицательную ско-

рость изменения значения системной переменной X_i , $i = \overline{1, n}$. В свою очередь $X_i^- = f_i^-(F_1, F_2, \dots, F_m)$, $X_i^+ = f_i^+(F_1, F_2, \dots, F_m)$ – функции от факторов F_j , $j = \overline{1, m}$, влияющих на скорость изменения переменной X_i , при этом F_j могут быть системными переменными и параметрами внешней среды [10, 12].

В соответствии с ГОСТ 22.0.06-97/ГОСТ Р 22.0.06-95 и РД 153-34.2-002-01 при разработке математической модели в качестве основных характеристик последствий наводнения приняты: $X_1(t)$ – численность группировки сил, участвующих в аварийно-спасательных работах; $X_2(t)$ – количество жилых домов, разрушенных и поврежденных в результате наводнения; $X_3(t)$ – численность населения, эвакуированного из зоны затопления; $X_4(t)$ – количество погибших; $X_5(t)$ – протяженность железных и автомобильных дорог, оказавшихся в зоне затопления; $X_6(t)$ – количество промышленных предприятий в зоне наводнения; $X_7(t)$ – количество транспортных средств, участвующих в аварийно-спасательных работах; $X_8(t)$ – численность населения в зоне затопления; $X_9(t)$ – площадь сельскохозяйственных угодий, охваченных наводнением; $X_{10}(t)$ – количество погибших сельскохозяйственных животных; $X_{11}(t)$ – ущерб основным производственным фондам в зоне затопления; $X_{12}(t)$ – ущерб оборотным производственным фондам в зоне затопления.

Для анализа взаимосвязей между исследуемыми характеристиками построен ориентированный граф причинно-следственных связей (рис. 2), положенный в основу разработанной математической модели.

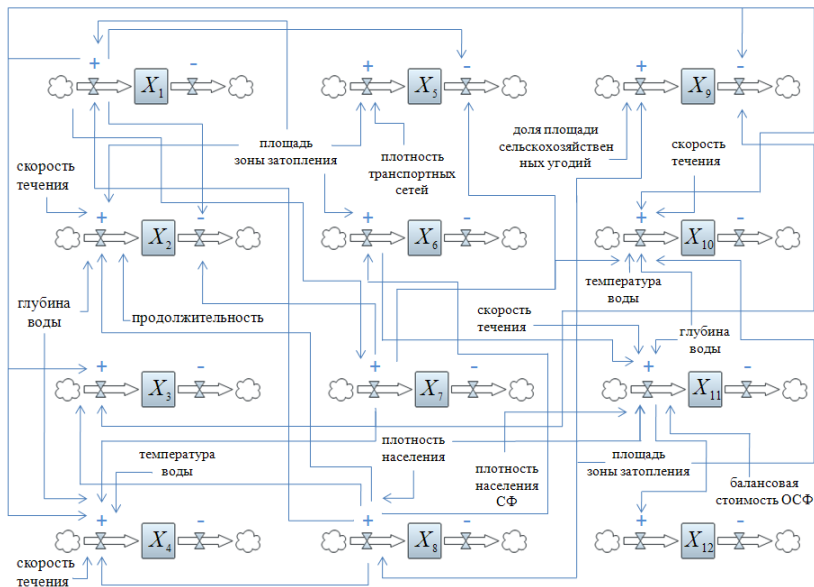


Рис. 2. Граф причинно-следственных связей, используемый при построении математической модели

Из анализа взаимосвязей между моделируемыми характеристиками последствий наводнения, с учетом принятых ограничений построена модель для определения характеристик последствий наводнения [9, 13, 18], которая имеет следующий общий вид:

пусть $A(t)$ – плотность транспортных сетей в зоне затопления; $D(t)$ – плотность населения в зоне затопления; $F(t)$, $G(t)$, $T(t)$ – средняя скорость течения, глубина и температура воды соответственно; $I(t)$ – доля площади сельскохозяйственных угодий; $S(t)$ – площадь зоны затопления; P – плотность населения по субъекту Федерации; C – стоимость основных производственных фондов субъекта Федерации;

тогда

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dX_1(t)}{dt} = f_1^+(S(t), X_8(t)), \\ \frac{dX_2(t)}{dt} = f_2^+(F(t), G(t), S(t), X_8(t), t) - f_2^-(X_1(t), X_7(t)), \\ \frac{dX_3(t)}{dt} = f_3^+(X_8(t), X_1(t), X_7(t)), \\ \frac{dX_4(t)}{dt} = f_4^+(F(t), G(t), T(t), X_8(t), X_7(t), X_1(t)), \\ \frac{dX_5(t)}{dt} = f_5^+(A(t), S(t)) - f_5^-(X_1(t), X_7(t)), \\ \frac{dX_6(t)}{dt} = f_6^+(S(t), X_8(t)), \\ \frac{dX_7(t)}{dt} = f_7^+(X_1(t)), \\ \frac{dX_8(t)}{dt} = f_8^+(D(t), S(t)) - f_8^-(X_4), \\ \frac{dX_9(t)}{dt} = f_9^+(I(t), S(t)) - f_9^-(X_1(t), X_7(t)), \\ \frac{dX_{10}(t)}{dt} = f_{10}^+(F(t), G(t), T(t), S(t), X_1(t), X_7(t)), \\ \frac{dX_{11}(t)}{dt} = f_{11}^+(F(t), G(t), S(t), X_6, D(t), P, C), \\ \frac{dX_{12}(t)}{dt} = f_{12}^+(X_{11}); \end{array} \right.$$

Предположим, что функции правой части (7) имеют вид $f_i^{+/-}(F_1, \dots, F_n) = \sum_{l=1}^n k_{i,l}^{+/-} \prod_{j=1}^n f_{i,l}^{F_j}(F_j)$, где коэффициенты $k_{i,l}^{+/-}$, $i = \overline{1, 12}$, определяются на этапе адаптации модели к объекту исследования [4]. Допустим также, что коэффициенты $k_{i,l} = 0$, $l = 1, m-1$, $k_{i,l} \neq 0$, $l = m$, $k_{i,l} = 0$, $l = m+1, n$, тогда выражение примет вид $f_i^{+/-}(F_1, \dots, F_n) = k_i^{+/-} \prod_{j=1}^n f_i^{F_j}(F_j)$, где F_j – системные переменные или параметры внешней среды. Следовательно, систему (7) можно представить в виде

$$(8) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dX_1(t)}{dt} = k_1^+ f_1^S(S(t)) f_1^{X_8}(X_8(t)), \\ \frac{dX_2(t)}{dt} = k_2^+ F(t) G(t) f_2^S(S(t)) f_2^{X_8}(X_8(t)) - k_2^- f_2^{X_1}(X_1(t)) f_2^{X_7}(X_7(t)), \\ \frac{dX_3(t)}{dt} = k_3^+ f_3^{X_8}(X_8(t)) f_3^{X_1}(X_1(t)) f_3^{X_7}(X_7(t)), \\ \frac{dX_4(t)}{dt} = k_4^+ F(t) G(t) T(t) f_4^{X_8}(X_8(t)) f_4^{X_7}(X_7(t)) f_4^{X_1}(X_1(t)), X_1(t), \\ \frac{dX_5(t)}{dt} = k_5^+ A(t) f_5^S(S(t)) - k_5^- f_5^{X_1}(X_1(t)) f_5^{X_7}(X_7(t)), \\ \frac{dX_6(t)}{dt} = k_6^+ f_6^S(S(t)) f_6^{X_8}(X_8(t)), \\ \frac{dX_7(t)}{dt} = k_7^+ f_7^{X_1}(X_1(t)), \\ \frac{dX_8(t)}{dt} = k_8^+ D(t) f_8^S(S(t)) - k_8^- f_8^{X_4}(X_4), \\ \frac{dX_9(t)}{dt} = k_9^+ I(t) f_9^S(S(t)) - k_9^- f_9^{X_1}(X_1(t)) f_9^{X_7}(X_7(t)), \\ \frac{dX_{10}(t)}{dt} = k_{10}^+ F(t) G(t) T(t) f_{10}^S(S(t)) f_{10}^{X_1}(X_1(t)) f_{10}^{X_7}(X_7(t)), \\ \frac{dX_{11}(t)}{dt} = k_{11}^+ PCF(t) G(t) D(t) f_{11}^S(S(t)) f_{11}^{X_6}(X_6(t)), \\ \frac{dX_{12}(t)}{dt} = k_{12}^+ f_{12}^{X_{11}}(X_{11}(t)); \end{array} \right.$$

где $f_j^{X_i}$ – функциональная зависимость системной переменной $X_j(t)$ от системной переменной $X_i(t)$, а f_j^S , в свою очередь, – зависимость $X_j(t)$ от $S(t)$, $i, j = \overline{1, 12}$. Если данные функциональные зависимости между системными переменными на этапе решения задачи не известны, то $f_j^{X_i}$ и f_j^S определяются на основе статистических данных, экспертами или разработчиками математического обеспечения, для чего используются кусочно-линейные функции, которые могут быть аппроксимированы полиномами.

Используя статистические данные по наводнению, происшедшему в Приморье в 2001 году [5], построим полиномы зависимостей $f_j^{X_i}$ и f_j^S : $f_1^S = 0,001S^3(t) - 0,04S^2(t) + 0,6S(t) - 2,1$ и $f_1^{X_8} = 54X_8^4(t) - 137X_8^3(t) + 103,7X_8^2(t) - 20,7X_8(t) + 1,9$ соответственно (рис. 3 и 4).

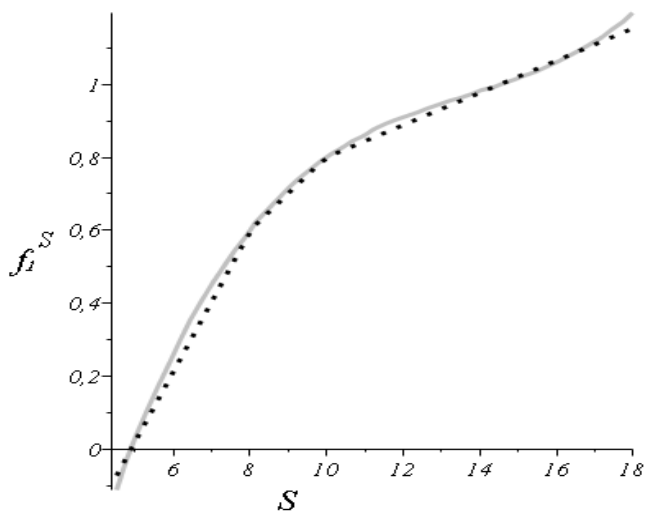


Рис. 3. Графики кусочно-линейной функции и полинома, характеризующего зависимость f_1^S

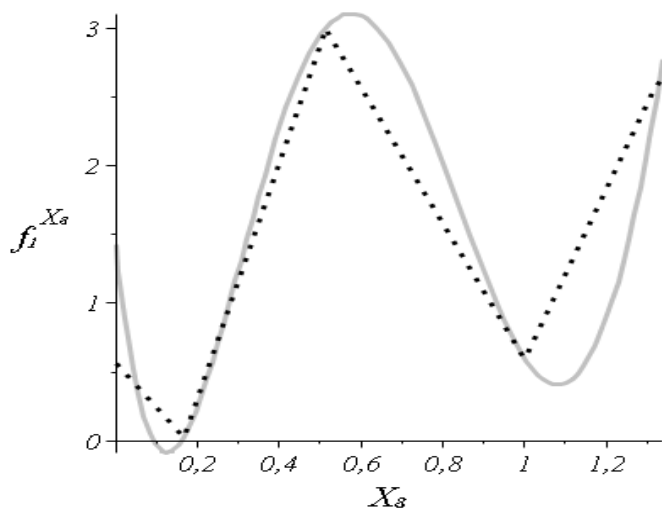


Рис. 4. Графики кусочно-линейной функции и полинома, характеризующего зависимость $f_1^{X_s}$

Перепишем систему (8) с учетом построенных полиномов

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dX_1(t)}{dt} &= \frac{1}{X_1^{max}} (k_1^+ (0,001S^3(t) - 0,04S^2(t) + 0,6S(t) - 2,1)(54X_8^4(t) - 137X_8^3(t) + \\
 &+ 103,4X_8^2(t) - 20,7X_8(t) + 1,2)), \\
 \frac{dX_2(t)}{dt} &= \frac{1}{X_2^{max}} (kt(-0,02S^3(t) + 0,64S^2(t) - 6,4S(t) + 21)(14,5X_8^2(t) + 22,5X_8(t) - \\
 &- 3,3) - k_2^-(0,57X_1^2(t) + 0,276X_1(t) + 0,05)(-3,3X_7^2(t) + 5,6X_7(t) - 0,13)), \\
 \frac{dX_3(t)}{dt} &= \frac{1}{X_3^{max}} (k_3^+(3,28X_8^2(t) - 23,31X_8(t) + 12,3)(-1,26X_1^2(t) + 10,1X_1(t) - 17,8) \\
 &(-0,33X_7^2 + 2,2X_7 + 0,26)), \\
 \frac{dX_4(t)}{dt} &= \frac{1}{X_4^{max}} (k_4^+ F(t)G(t)T(t)(-1,3X_8^4(t) + 1,92X_8^3(t) - 0,95X_8^2(t) + 0,3X_8(t) + \\
 &+ 0,7)(-0,42X_7^4(t) - 7,19X_7^3(t) + 19,34X_7^2(t) - 15,1X_7(t) + 4,435)(X_1^3(t) - \\
 &- X_1^2(t) + 1,5X_1(t) + 0,02)), \\
 \frac{dX_5(t)}{dt} &= \frac{1}{X_5^{max}} (k_5^+ A(t)(0,01S^2(t) - 0,1S(t) + 0,5) - k_5^-(0,217X_1^2(t) - 0,505X_1(t) + \\
 &+ 0,31)(-0,304X_7^2(t) + 1,1X_7(t) + 0,26)), \\
 \frac{dX_6(t)}{dt} &= \frac{1}{X_6^{max}} (k_6^+(0,002S^2(t) + 0,056S(t) + 0,48)(-0,05X_8^3(t) + 0,9X_8^2(t) - \\
 &- 0,02X_8(t) + 0,23), \\
 \frac{dX_7(t)}{dt} &= \frac{1}{X_7^{max}} (k_7^+(3,5X_1^3(t) - 5,3X_1^2(t) + 3,27X_1(t) + 0,0003)), \\
 \frac{dX_8(t)}{dt} &= \frac{1}{X_8^{max}} (k_8^+ D(t)(0,18S^3(t) - 0,06S^2(t) + 0,77S(t) - 1,77) - k_8^-(2,17X_4^2(t) - \\
 &- 0,0024X_4(t) + 0,16)), \\
 \frac{dX_9(t)}{dt} &= \frac{1}{X_9^{max}} (k_9^+ I(t)(0,002S^2(t) + 0,07S(t) + 0,5) - k_9^-(0,43X_1^3(t) - 2,3X_1^2(t) + \\
 &+ 3,2X_1(t) - 0,07)(1,15X_7^3(t) - 1,78X_7^2(t) + 0,93X_7(t) - 0,024)), \\
 \frac{dX_{10}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{10}^{max}} (k_{10}^+ F(t)G(t)T(t)(-0,0007S^4(t) + 0,03S^3(t) - 0,46S^2(t) + 2S(t) - \\
 &- 0,4)(0,25X_1^3(t) - 1,24X_1^2(t) + 2,04X_1(t) - 0,049) \\
 &(10,9X_7^3(t) - 26,57X_7^2(t) + 16,7X_7(t) - 0,515)), \\
 \frac{dX_{11}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{11}^{max}} (k_{11}^+ PCF(t)G(t)D(t)(-0,0005S^3(t) + 0,02S^2(t) - 0,01S(t) + 0,4) \\
 &(-3,5X_6^3(t) + 7,8X_6^2(t) - 2,7X_6(t) + 0,25)), \\
 \frac{dX_{12}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{12}^{max}} (k_{12}^+ (-45,3X_{11}^4(t) + 111,95X_{11}^3(t) - 84,07X_{11}^2(t) + 20,04)), \\
 t_0 = 1, X_i(t_0) &= X_{i0}, i = \overline{1,12}.
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Система дифференциальных уравнений (9) представляет собой задачу Коши и может быть решена одним из известных численных методов. Для удобства представления полученных результатов моделируемые характеристики нормированы относительно максимальных значений за 1993 год. Результаты численного

решения системы (9) методом Рунге – Кутты 4 порядка представлены на рис. 5.

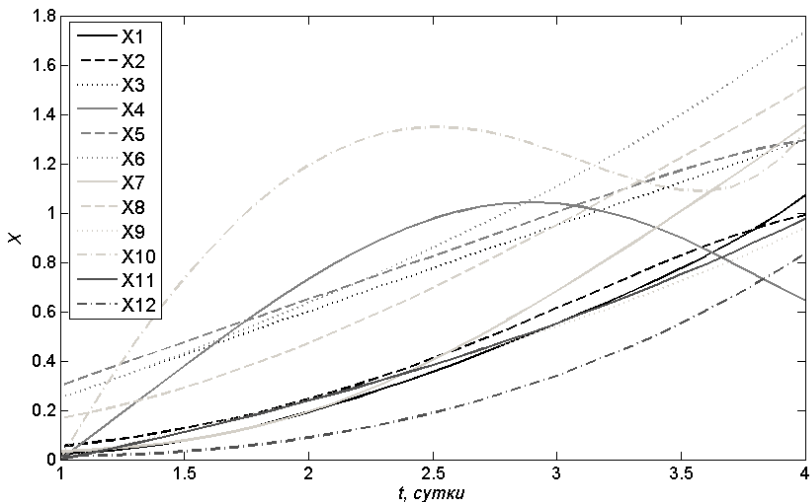


Рис. 5. Результаты прогнозирования характеристик с учетом представления функций системы (5) в аддитивно-мультипликативном виде

В связи с тем, что статистические данные по наводнению могут отсутствовать или носить фрагментарный характер, предложена альтернативная методика построения зависимостей f_i^- и f_i^+ модели (7). В таблице 1 представлены построенные на основе указанной методики функции f_i^- и f_i^+ системы (7), где коэффициенты k_i , $i = \overline{1,15}$, определяются посредством вычислительного эксперимента на этапе адаптации модели к объекту исследования.

На рис. 6 представлены результаты решения системы (7) с учетом представления функций f_i^- и f_i^+ согласно таблице 1.

Таблица 1. Аналитический вид функций f_i^- и f_i^+

f_1^+	$\begin{cases} k_1\sqrt{S(t)X_8(t)}, S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$	f_{10}^+	$\begin{cases} k_{10} \frac{F(t)G(t)T(t)S(t)}{X_1(t)X_7(t)}, S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$
f_2^+	$\begin{cases} k_2F(t)G(t)T\sqrt[3]{S(t)X_8(t)}, S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$	f_{11}^+	$\begin{cases} k_{15} \frac{CD(t)G(t)F(t)X_6(t)}{S(t)P}, S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$
f_3^+	$k_3 \frac{X_8(t)X_1(t)}{X_7(t)}$	f_{12}^+	$k_{16}X_{11}(t)$
f_4^+	$k_4 \frac{F(t)G(t)T(t)X_8(t)}{X_7(t)X_1(t)}$	f_{10}^+	$\begin{cases} k_{10} \frac{F(t)G(t)T(t)S(t)}{X_1(t)X_7(t)}, S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$
f_5^+	$\begin{cases} k_5A(t)S(t), S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$	f_2^-	$k_{11}X_1(t)X_7(t)$
f_6^+	$\begin{cases} k_6S(t)^{0,5}X_8^{0,1}(t), S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$	f_5^-	$k_{12}X_1(t)X_7(t)$
f_7^+	$k_7X_1(t)$	f_8^-	$k_{13}X_4(t)$
f_8^+	$\begin{cases} k_8D(t)S(t), S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$	f_9^-	$k_{14}X_1(t)X_7(t)$
f_9^+	$\begin{cases} k_9I(t)S(t), S(t) > \varepsilon \\ 0, S(t) \leq \varepsilon \end{cases}$		

Для оценки точности разработанной модели сравнивались значения характеристик последствий наводнения, рассчитанные по модели (7), с реальными данными наводнения, происшедшего в Приморье в 2001 году. Из таблицы 2 следует, что характеристики, рассчитанные по разработанной модели, незначительно отличаются от соответствующих реальных значений, где $\Delta_{\text{иср}}^{X_i}$ – средние значения относительных погрешностей результа-

тов, полученных по модели (9), а $\Delta_{2cp}^{X_i}$ – средние значения относительных погрешностей результатов системы (7) согласно представлению функций правой части с учетом таблицы 1.

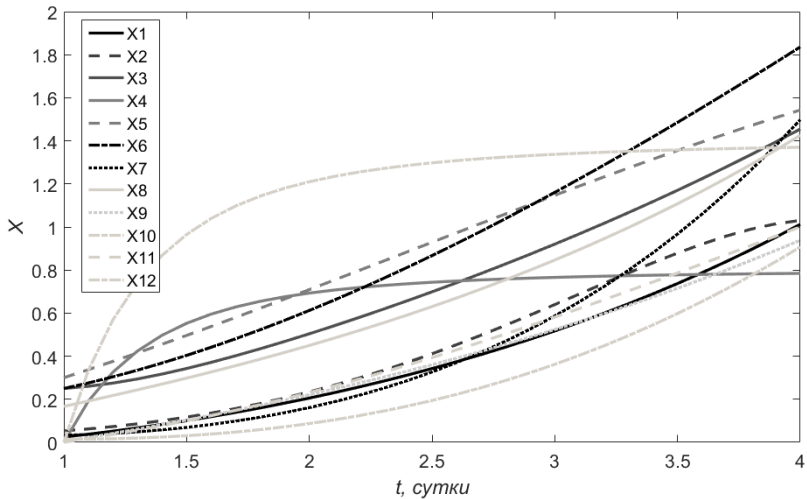


Рис. 6. Результаты прогнозирования характеристик с учетом представления функциональных зависимостей системы (7) согласно таблице 1

Таблица 2. Сравнение средних значений относительных погрешностей

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
$\Delta_{1cp}^{X_i}$	16%	14%	6%	3%	11%	2%	14%	14%	5%	3%	15%	14%
$\Delta_{2cp}^{X_i}$	9%	4%	6%	15%	7%	1%	4%	4%	5%	8%	9%	8%

Разработанная модель адаптируется под каждый конкретный объект исследования, для этого осуществляется сбор и хранение информации об объекте, на основе которой выбираются системные переменные из нормативных документов, определяется вид функций правых частей дифференциальных уравне-

ний (7) и уточняются коэффициенты модели, а на каждом этапе адаптации модели происходит ее корректировка.

2.3. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ НАВОДНЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ И ТЕРРИТОРИЯХ

На рис. 7 представлена блок-схема алгоритма решения задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений на объектах и территориях, демонстрирующего основные этапы решения поставленной задачи.

Проиллюстрируем особенности его применения на примере наводнения в Приморье. В соответствии с данным алгоритмом для решения задачи (1)–(3) необходимо для конкретного объекта управления построить функциональные зависимости правых частей системы дифференциальных уравнений (5). Затем полученную систему следует решить численным методом, а полученные результаты аппроксимировать полиномами невысоких степеней. Для характеристик последствий наводнения, происшедшего в Приморье в 2001 году, эти полиномы имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} X_1(t, p(t)) &= 0,001t^3 + 0,0665t^2 - 0,0345t - 0,008, \\ X_2(t, p(t)) &= -0,0536t^3 + 0,4455t^2 - 0,786t + 0,447, \\ X_3(t, p(t)) &= -0,011t^3 + 0,151t^2 - 0,14t + 0,25, \\ X_4(t, p(t)) &= 0,0923t^3 - 0,859t^2 + 2,6156t - 1,849, \\ X_5(t, p(t)) &= -0,04t^3 + 0,288t^2 - 0,187t + 0,239, \\ X_6(t, p(t)) &= -0,0063t^3 + 0,104t^2 + 0,107t + 0,045, \\ (10) \quad X_7(t, p(t)) &= 0,03t^3 - 0,032t^2 + 0,01t + 0,023, \\ X_8(t, p(t)) &= 0,0132t^3 - 0,0245t^2 + 0,245t - 0,067, \\ X_9(t, p(t)) &= -0,009t^3 + 0,1115t^2 - 0,06t - 0,038, \\ X_{10}(t, p(t)) &= 0,16t^3 - 1,5t^2 + 4,57t - 3,23, \\ X_{11}(t, p(t)) &= 0,004t^3 + 0,01t^2 + 0,21t - 0,22, \\ X_{12}(t, p(t)) &= 0,034t^3 - 0,127t^2 + 0,24t - 0,145. \end{aligned}$$

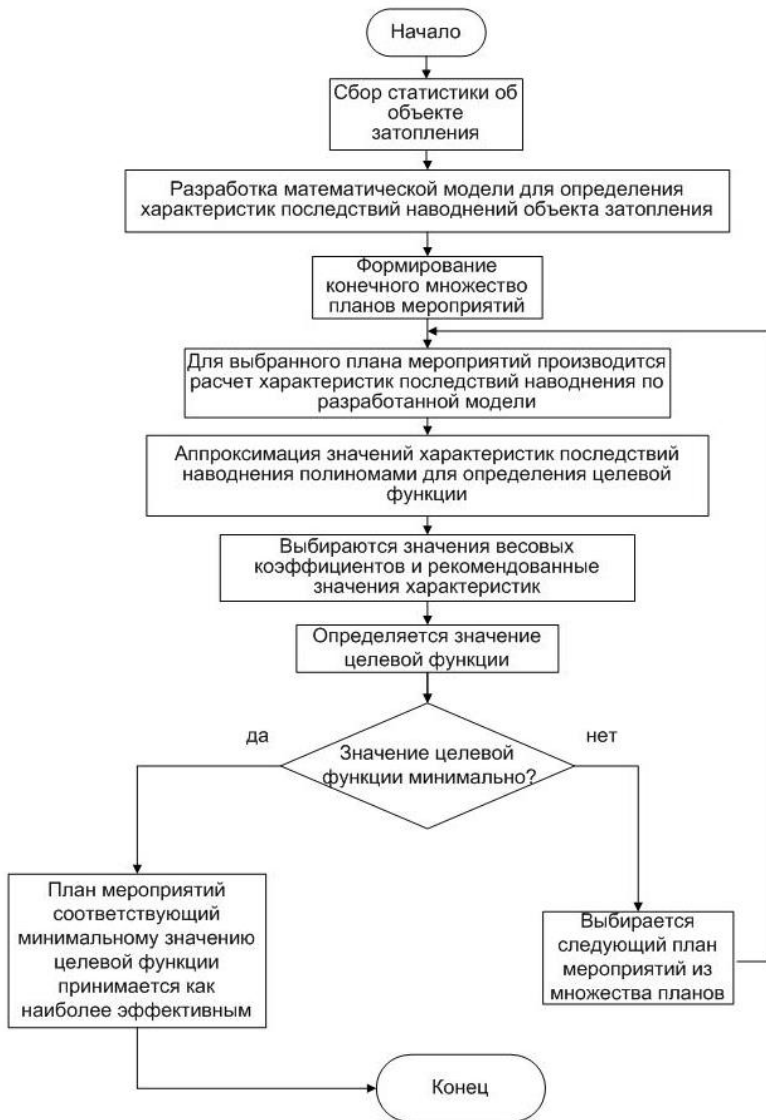


Рис. 7. Блок-схема алгоритма решения задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений на объектах и территориях

Для вычисления целевой функции $Z(p_j(t))$ необходимо задать значения весовых коэффициентов γ_i , $i = \overline{1,12}$. Эти коэффициенты выбираются, исходя из опыта оперативно-диспетчерского персонала МЧС, и определяют значимость характеристик $X_i(t)$, $\sum_{i=1}^{12} \gamma_i = 1$. Для наводнения в Приморье

в 2001 году указанные коэффициенты имеют следующий вид:

$$(11) \quad \begin{aligned} \gamma_1 &= 0,2; \gamma_2 = 0,09; \gamma_3 = 0,03; \gamma_4 = 0,125; \\ \gamma_5 &= 0,075; \gamma_6 = 0,03; \gamma_7 = 0,14; \gamma_8 = 0,16; \\ \gamma_9 &= 0,08; \gamma_{10} = 0,07; \gamma_{11} = 0,05; \gamma_{12} = 0,05. \end{aligned}$$

Экспертами выбираются рекомендованные значения характеристик X_i^* , $i = \overline{1,12}$. В целевую функцию (1) подставляются построенные полиномы (10), весовые коэффициенты (11) и рекомендованные значения, затем упрощается подынтегральная функция и вычисляется интеграл на интервале $[1; 4]$. В результате значение целевой функции при выборе первоначального плана будет иметь вид

$$(12) \quad \begin{aligned} Z(p_0) &= \int_1^4 (1,6 - 1,73t^3 + 3,5t^2 - 3,64t + 0,003t^6 - 0,06t^5 + \\ &+ 0,45t^4) dt = 0,634 \end{aligned}$$

Управляющие воздействия имеют вид планов мероприятий, направленных на минимизацию ущерба от последствий наводнений. Опыт показывает, что органы управления РСЧС используют сравнительно небольшое количество планов мероприятий $P = \{p_1(t), \dots, p_k(t)\}$, которое формируется экспертами. В процессе решения задачи (1)–(3) определяются значения $Z(p_j(t))$ для каждого плана мероприятий $p_j(t)$ из множества $P = \{p_1(t), \dots, p_k(t)\}$ и с помощью перебора выбирается тот план, реализация которого дает минимальное значение целевой функции.

Рассмотрим планы мероприятий $p_j(t) \in P$, $j = 1, 2, 3, 4$, для указанного наводнения, где реализация любого плана направлена на изменение значений характеристик $X_i(t)$, $i = \overline{1,12}$, $p_j: \{X_1, X_2, \dots, X_{12}\} \rightarrow \{X_1 + \alpha_1^{(j)}, X_2 + \alpha_2^{(j)}, \dots, X_{12} + \alpha_{12}^{(j)}\}$. Для

каждого плана мероприятия производится расчет характеристик последствий наводнений согласно модели (5), полученные результаты аппроксимируются полиномами, которые подставляются в целевую функцию (1). Таким образом, например, для плана $p_4(t)$ целевая функция (1) определяется следующим выражением:

$$(13) \quad Z(p_4(t)) = \int_1^4 (-0,27t - 0,189t^3 + 0,25t^2 + 0,001t^6 - 0,01t^5 + 0,07t^4 + 0,32)dt = 0,404$$

Графики изменения целевой функции (1) при различных управляющих воздействиях представлены на рис. 8.

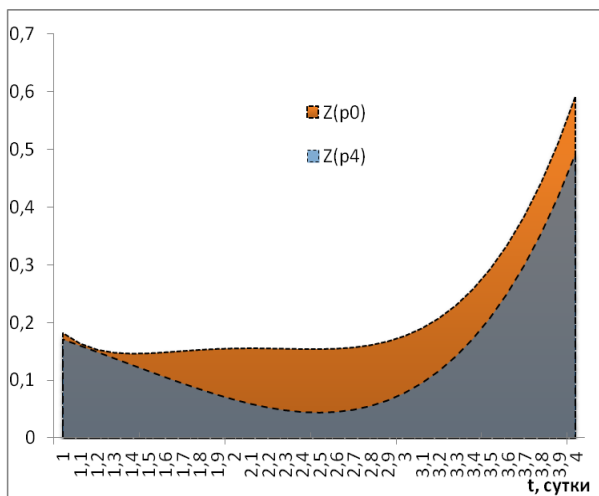


Рис. 8. Графики изменения целевой функции Z при различных управляющих воздействиях

В таблице 3 представлены значения целевой функции Z согласно первоначальному плану p_0 и при реализации планов мероприятий $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ и $p_4(t)$ на интервале [1;4].

Таблица 3. Значение целевой функции Z при реализации планов мероприятий

	Согласно первоначальному плану мероприятий $p_0(t)$	При реализации плана $p_1(t)$	При реализации плана $p_2(t)$	При реализации плана $p_3(t)$	При реализации плана $p_4(t)$
$Z(p_j(t))$	0,634	0,41	0,48	0,5	0,404

Из таблицы следует что, минимальное значение целевой функции (1) достигается при реализации плана мероприятий $p_4(t)$. Таким образом, $p_4(t)$ является оптимальным управляющим воздействием, а его выполнение реализует оптимальное управление процессом ликвидации последствий наводнений.

2.4. МОДЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР

Саратовская область подвержена наводнениям, связанным с весенним паводком. В период весеннего половодья, разливаясь, р. Аткара затапливает на продолжительное время значительную территорию г. Аткарска Саратовской области и в отдельные годы этот процесс принимает форму стихийного бедствия. Река Аткара является частью гидрографической системы бассейна р. Дон (правобережный приток р. Медведицы) (рис. 9).

Основные этапы решения задачи управление процессом ликвидацией последствий наводнения на промышленных объектах и территориях г. Аткарска:

- прогнозирование возможных последствий наводнения;
- определение значений целевой функции;
- формирование множества планов мероприятий $P = \{p_1^a(t), p_2^a(t)\}$;
- определение для плана мероприятий $p_1^a(t)$ характеристик последствий наводнения и значения целевой функции;
- определение для плана мероприятий $p_2^a(t)$ характеристик последствий наводнения и значения целевой функции;

- сравнение значений целевой функции;
- выбор плана мероприятий соответствующего минимальному значению целевой функции.

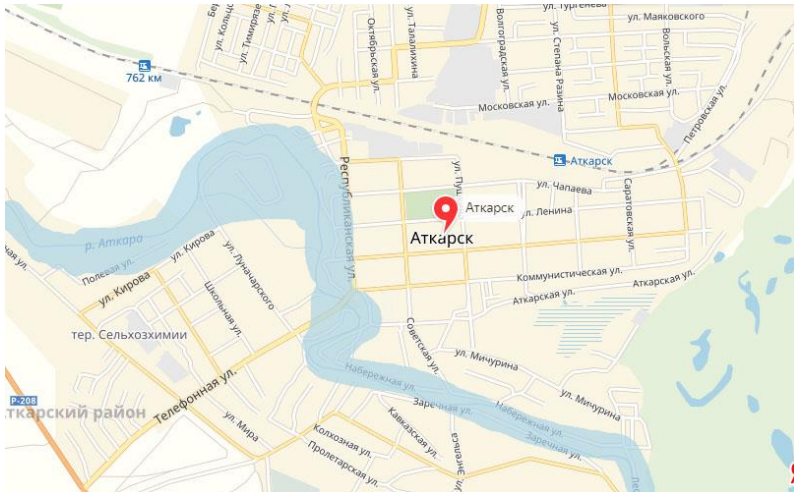


Рис. 9. Карта затопления г. Аткарска

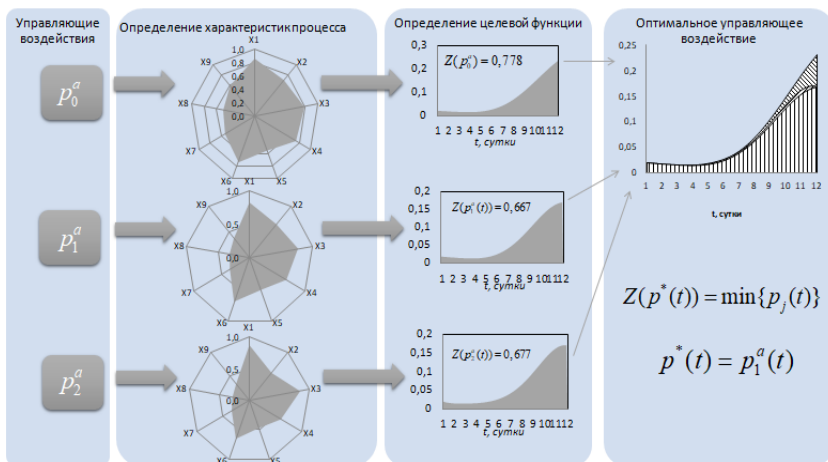


Рис. 10. Основные этапы решения задачи управления процессом ликвидации последствий наводнения на промышленных объектах и территориях г. Аткарска

На рис. 10 представлена процедура решения задачи управления процессом ликвидацией последствий наводнения на промышленных объектах и территориях г. Аткарска, включающая этапы, сформулированные выше.

Как показано выше, план мероприятий $p_1^a(t)$ минимизирует целевую функцию (1), а значит, является наиболее предпочтительным. Мероприятия верхнего уровня плана $p_1^a(t)$ представлены в виде схемы на рис. 11.

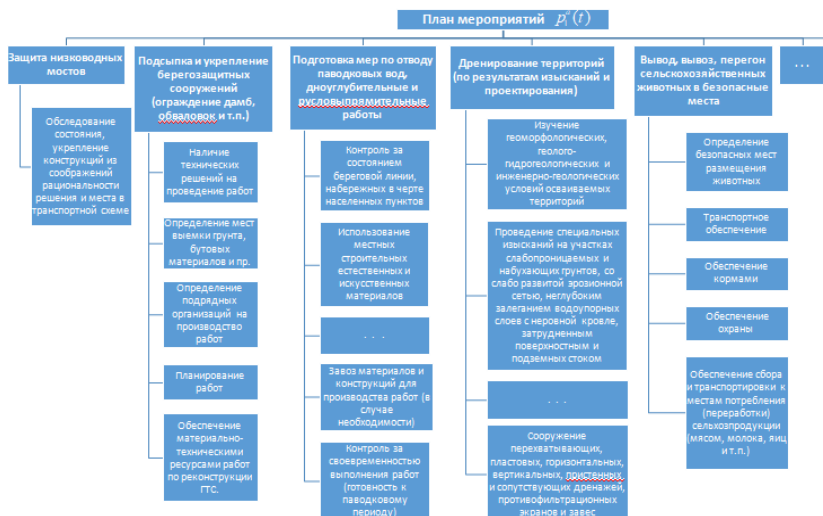


Рис. 11. Мероприятия верхнего уровня плана наиболее предпочтительного плана ликвидации последствий наводнений в г. Аткарске

Из рис. 10 следует, что реализация плана мероприятий позволит повысить эффективность управления процессом ликвидации последствий наводнения в Аткарске. Согласно результатам вычислительных экспериментов, при выборе наиболее предпочтительного плана мероприятий p_1^a количество затопленных домов снизится с 119 до 75, а количество разрушенных мостов уменьшится с 5 до 3. В целом полученные результаты вполне

согласуются с реальными данными наводнения в Аткарске в апреле 2018 года.

2.5. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Основные результаты исследования реализованы в программном комплексе FCFAAD, осуществляющем расчет характеристик последствий наводнения, влияющих на величину ущерба. FCFAAD является информационной системой, предназначенной для эксплуатации в составе системы управления процессами ликвидации последствий наводнения объектового и территориального уровня [17]. Система FCFAAD – клиент-серверное приложение, интерфейс которого представлен на рис. 12.

Основные функциональные возможности ИС FCFAAD:

- расчет характеристик последствий наводнения, влияющих на величину ущерба, и их вывод на экран;
- хранение входных и расчетных данных в базе данных (БД) для последующего анализа и корректировки;
- поиск экстремумов целевой функции.

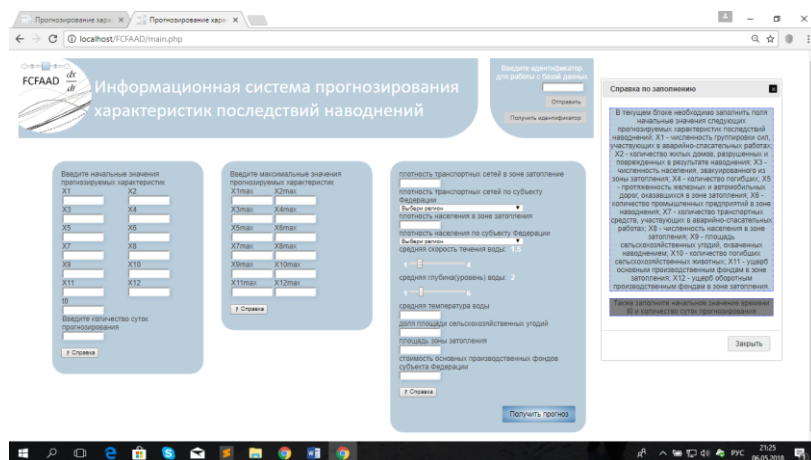


Рис. 12. Интерфейс информационной системы FCFAAD

Информационная система (ИС) FCFAAD может работать в режиме компьютерного тренажера, используемого для обучения членов комиссии по чрезвычайным ситуациям (КЧС) объектового и территориального уровня, а также ведущих специалистов МЧС и отдела по делам ГОЧС. Тренажерная система позволит отработать практические навыки и повысить опыт в области прогнозирования наводнений и принятия решений по ликвидации их последствий.

2.6. КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

На рис. 13 представлена структура комплекса технических средств системы управления процессом ликвидации последствий наводнения на примере предприятие ООО «Саратоворгсинтез».

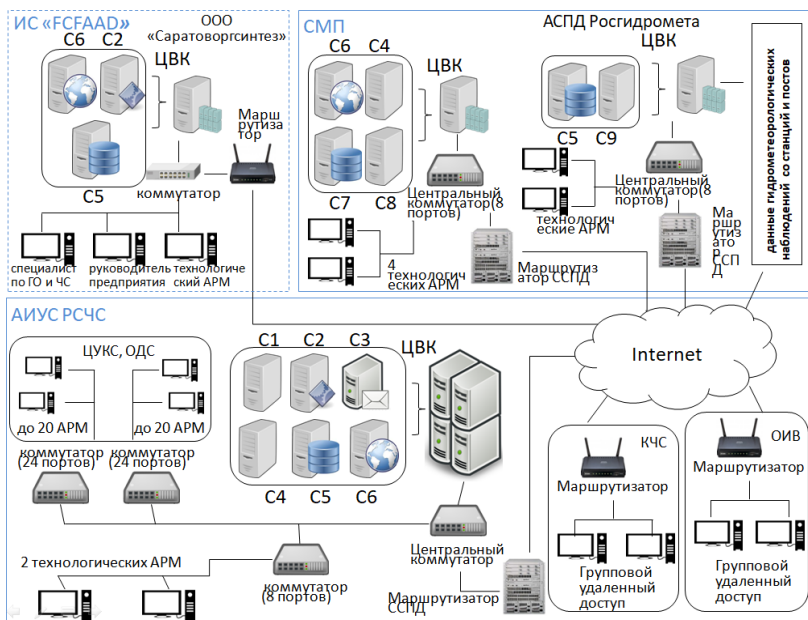


Рис. 13. Структура комплекса технических средств системы управления процессом ликвидации последствий наводнения

На рис. 13 приняты следующие обозначения: С1 – сервер видеоконференций; С2 – сервер управления; С3 – сервер электронной почты; С4 – сервер обеспечения информационной безопасности; С5 – сервер БД; С6 – веб-сервер; С7 – сервер БД (хранение растровых изображений); С8 – ГИС-сервер; С9 – сервер интеграции данных; ЦВК – центральный вычислительный комплекс; ЦУКС – центр управления кризисными ситуациями; ОДС – оперативно-диспетчерская служба; КЧС – комиссия по чрезвычайным ситуациям; ОИВ – органы исполнительной власти; АСПД – автоматизированная система передачи данных; АИУС – автоматизированная информационно-управляющая система; СМП – система мониторинга и прогнозирования наводнений; АРМ – автоматизированное рабочее место.

На рис. 14 представлена разработанная типовая информационно-логическая схема [14, 19, 20], характеризующая процедуру решения поставленной задачи с использованием ИС FCFAAD для КЧС РСЧС (МЧС) объектового и территориального уровня.

На временном интервале не менее суток осуществляется определение входных параметров математической модели (5), решается система дифференциальных уравнений и выдаются сведения об основных характеристиках последствий наводнения. Результаты прогнозирования проверяются на достоверность. Экспертами формируется множество управляющих воздействий, представленных в виде плана мероприятий. Осуществляется реализация управляющих воздействий, а затем выбор оптимального управляющего воздействия. Собранная и полученная на данном этапе информация хранится в базах данных и знаний информационной системы, в процессе решения задачи обрабатывается и анализируется.

На временном интервале месяц–квартал на основе накопленной информации происходит обучение управляющего персонала с помощью тренажерных систем, данные о результатах обучения систематизируются и анализируются.

На длительных временных интервалах происходит накопление статистических данных об эффективности использования разработанной системы прогнозирования, анализ которых поз-

воляет скорректировать разработанные математических моделей и алгоритмов для управления процессом ликвидации последствий наводнений и за счет этого повысить эффективность управления.

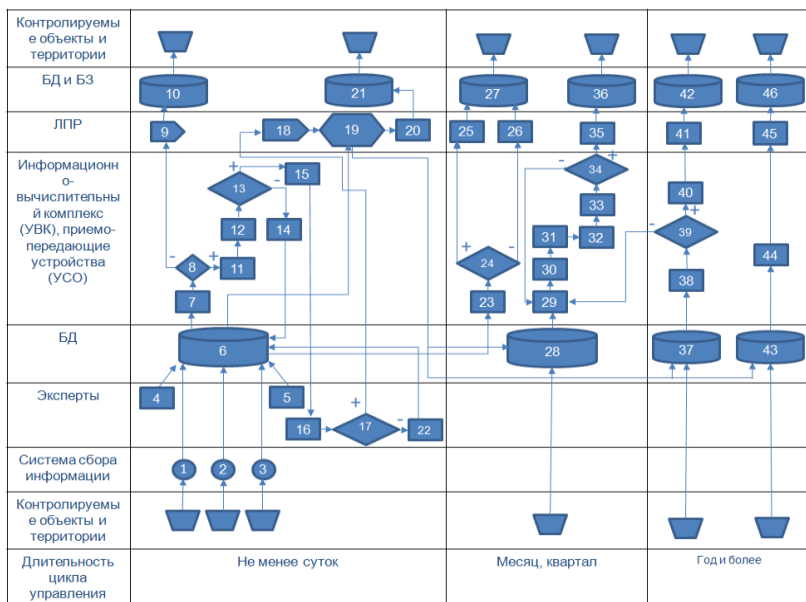


Рис. 14. Информационно-логическая схема управления процессом ликвидации последствий наводнения для КЧС РСЧС объектового и территориального уровня

На рис. 14 приняты следующие обозначения: 1, 2, 3 – уровень, температура, скорость течения воды и т.д.(данные, полученные из систем мониторинга и прогнозирования наводнений); 4 – мнение экспертов; 5 – формирование множества планов мероприятий (УВ); 6 – внесение информации в базу данных (знаний); 7 – проверка достоверности; 8 – информация достоверна; 9 – выдача на экран информации о недостоверности полученной информации; 10 – внесение информации в базу данных (знаний); 11 – определение параметров математической модели;

12 – проверка адекватности математической модели; 13 – модель адекватна; 14 – коррекция модели; 15 – расчет прогнозируемых характеристик; 16 – проверка экспериментами; 17 – эксперименты удачны; 18 – выдача на экран информации о положительной проверке экспериментами; 19 – реализация планов мероприятий (УВ), вычисление целевой функции и выбор оптимального УВ; 20 – принятие решения; 21 – внесение информации в базу данных (знаний); 22 – коррекция параметров модели; 23 – анализ результатов решения за месяц (квартал); 23 – результаты удовлетворительны; 24 – тестирование персонала; 25 – принятие решения по коэффициентам модели и процедуре прогнозирования; 27 – внесение информации в базу данных (знаний); 28 – формировании заданий для тренажерных систем; 29 – запуск тренажерной системы; 30 – формирование заданий; 31 – сбор информации о результатах работы по ликвидации последствий наводнений; 32 – выполнение заданий; 33 – оценка результатов; 34 – задание выполнено; 35 – поощрение; 36 – внесение информации об обучении в базу данных (знаний); 37 – выборка информации необходимой в результатах обучения; 38 – оценка компетентности управляющего персонала; 39 – уровень компетентности удовлетворяет; 40 – выдача на экран информации для ЛПП о требуемом уровне управляющего и диспетчерского персонала; 41 – поощрение; 42 – внесение информации о подготовке персонала в базу данных (знаний); 43 – сбор статистики по ликвидации последствий наводнений за год и более; 44 – планирование мероприятий по усовершенствованию процесса ликвидации последствий наводнений; 45 – выдача на экран информации для органов власти; 46 – внесение информации в базу данных (знаний).

3. Заключение

Разработана постановка задачи управления процессом ликвидации последствий наводнений на промышленных объектах и территориях, предложены и обоснованы критерий эффективности, математические модели и алгоритмы решения данной задачи.

Разработана информационная система FCFAAD, реализующая модели и алгоритмы управления процессом ликвидации последствий наводнения на промышленных объектах и территориях. На примере предприятия ООО «Саратоворгсинтез» рассмотрена структура комплекса технических средств, используемого для реализации информационной системы FCFAAD. Особенности практического применения разработанного математического обеспечения пояснены с помощью модельного примера.

Литература

1. АВАКЯН А.Б. *Наводнения. Концепция защиты* // Известия РАН. Сер. географическая. – 2000.– №5. – С. 40–46.
2. АРХИПОВА Н.И., КУЛЬБА В.В. *Управление в чрезвычайных ситуациях*. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Рос. гос. гуманитар. ун-т, 1998. – 316 с.
3. БОРЩ С.В., СИМОНОВ Ю.А., ХРИСТОФОРОВ А.В. *Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани* // Труды Гидрометцентра России. – Вып. 356. – ТРИАДА ЛТД Москва, 2015. – 248 с.
4. БРОДСКИЙ Ю.И. *Лекции по математическому и имитационному моделированию*. – М. -Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 240 с.
5. ВОРОБЬЕВ В.Л., АКИМОВ В.А., СОКОЛОВ Ю.И. *Катастрофические наводнения XXI века: уроки и выводы*. – М.: ООО «Декс-Пресс», 2003. – 352 с.
6. ВОРОНИН А.А., ВАСИЛЬЧЕНКО А.А., ХРАПОВ С.С. *Анализ эффективности природовосстановительных проектов в эколого–экономической системе «Волжская ГЭС – Волго–Ахтубинская пойма»* // Управление большими системами. – 2014. – №52. – С. 133–147.
7. ДАНИЛОВ П.В., ЖИГАНОВ К.В., ПРОНИН А.В., ВИВЧАРЬ И.С. *Применение функционально-технологической концепции математического моделирования для разработки управленческих решений при ликвида-*

- ции чрезвычайных ситуаций, связанных с наводнениями // Молодой ученый. – 2016. – №27. – С. 386–89.*
8. ДЬЯКОНОВА Т.А., ПИСАРЕВ А.В., ХОПЕРСКОВ А.В., ХРАПОВ С.С. *Математическая модель динамики поверхностных вод // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. – 2014. – №1. – С. 35–44.*
 9. РЕЗЧИКОВ А.Ф., КУШНИКОВ В.А., ИВАЩЕНКО В.А., БОГОМОЛОВ А.С., ФИЛИМОНЮК Л.Ю., ХАМУТОВА М.В. *Моделирование последствий наводнений на основе причинно-следственных комплексов и системно-динамического подхода // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т. 13, №4. – С. 13–20.*
 10. САДОВНИЧИЙ В.А., АКАЕВ А.А., КОРОТАЕВ А.В., МАЛКОВ С.Ю. *Моделирование и прогнозирование мировой динамики. – М.: ИСПИ РАН, 2012. – 360 с.*
 11. ФЕДЯНИН В.И., ПРОСКУРНИКОВ Ю.Е. *Организация и ведение аварийно-спасательных и других неотложных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного характера: учеб. пособие – Воронеж: ВГТУ, 2006. – Ч. 1. – 469 с.*
 12. ФОРРЕСТЕР ДЖ. *Мировая динамика. – М.: Наука, 1978.*
 13. ХАМУТОВА М.В., КУШНИКОВ В.А. *Модель прогнозирования характеристик наводнения, влияющих на величину причиняемого ущерба // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2017. – Т. 17, №2. – С. 231–238.*
 14. ШЛЫЧКОВ Е.И., ПОХАЗНИКОВ М.Ю., КУШНИКОВ В.А., КАЛАШНИКОВА О.М. *Анализ выполнимости планов мероприятий при оперативном управлении машиностроительным предприятием // Вестник СГТУ. – 2007. – №1. – С. 88–95.*
 15. ADAMS T.E., PAGANO T.C. *Flood Forecasting – A Global Perspective. – Academic Press, 2016. – 480 p.*

16. FELDER G., ZISCHG A., WEINGARTNER R. *The effect of coupling hydrologic and hydrodynamic models on probable maximum flood estimation* // Journal of Hydrology. – 2017. – Vol. 550. – P. 157–165.
17. FRANCO E.F., HIRAMA K., CARVALHO M. *Applying system dynamics approach in software and information system projects: A mapping study* // Information and Software Technology. – 2018. – Vol. 93. – P. 58–73.
18. KHAMUTOVA M.V. et al *Forecasting characteristics of flood effects* // Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol. 1015. – Article 052012. – DOI:10.1088/1742-6596/1015/5/052012.
19. KUSHNIKOV V.A., REZCHIKOV A.F., TSVIRKUN A.D. *Control in man-machine systems with automated correction of objectives* // Meitan Kexun Jishu. – 1998. – T. 26, No. 11. – P. 168–175.
20. KUSHNIKOV V.A., REZCHIKOV A.F., TSVIRKUN A.D. *Control in man-computer systems with computer-aided goal correction* // Automation and Remote Control. – 1998. – T. 59, No. 7. Part 2. – P. 1040–1046.
21. Munich Re. *Natural catastrophes 2015. Analyses, assessments, positions.* Topics Geo. 2016.
22. SENE K. *Flood Warning, Forecasting and Emergency Response.* Berlin; London: Springer, 2008. – 303 p.

MANAGEMENT OF LIQUIDATION PROCESS OF FLOODS CONSEQUENCES ON INDUSTRIAL OBJECTS AND TERRITORIES

Anatoly Tsvirkun, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (tsvirkun@ipu.ru).

Alexander Rezchikov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (iptmuran@san.ru).

Vadim Kushnikov, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, Doctor of Science, professor (iptmuran@san.ru).

Vladimir Ivashenko, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, Doctor of Science (iptmuran@san.ru).

Leonid Filimonyuk, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, Doctor of Science (iptmuran@san.ru).

Alexey Bogomolov, Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, Cand.Sc. (iptmuran@san.ru).

Maria Khamutova, Saratov State University, Saratov (mariuka7d@rambler.ru).

Abstract: A problem of the management of liquidation process of floods consequences was formulated based on the system analysis was. System dynamics was used to solve this problem. The characteristics of floods consequences are determined and the causal diagram was constructed. The model to define characteristics of floods consequences affecting the amount of damage was developed and is represented by a system of nonlinear differential equations. The results of solution of system of differential equations were compared to a real data of the flood that occurred in Primorye in 2001. The algorithm of solving the problem of management of liquidation process of floods consequences in which a control functions are presented in the form of the action plans aimed at reducing the characteristics of floods consequences was developed. The software package was developed to implement models and algorithms. The structure of the complex of technical means of management system of liquidation process of floods consequences is developed. An informational-logical scheme illustrating the main stages of the implementation of the developed mathematical software in the structural subdivisions of the EMERCOM system of the object and territorial level has been formed.

Keywords: management of liquidation process of floods consequences, mathematical model, system dynamics.

УДК 004.942

ББК 30в6

DOI: 10.25728/ubs.2020.83.4

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Э.Ю. Калимулиной.

Поступила в редакцию 05.12.2018.

Опубликована 31.01.2020.