

DOI: 10.15593/2224-9397/2020.2.09

УДК 005.83

Н.И. Сафонов, В.А. ХаритоновПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

МЕХАНИЗМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ВНУТРИПРОЕКТНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПЛАНОВ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ИХ КОМПОЗИЦИЙ

Согласованное управление проектами ремонтно-восстановительных работ в отношении отдельных объектов жилой недвижимости является базой для обеспечения возможности перехода на более высокий уровень эффективности управления жилым фондом в целом. Предлагается гипотеза о возможности достижения глубокого взаимного соответствия множества предоставляемых услуг и поддержания соответствующего технического состояния многоквартирных домов. Предложенная гипотеза основана на сложившейся парадигме нормирования процессов проектирования объектов недвижимости, гарантирующей предоставление собственникам услуг на основе достижения установленных значений параметров конструктивных элементов, характеризующих уровень технического состояния подсистем здания. **Целью исследования** являются разработка и систематизация механизмов согласования внутрипроектных противоречий при составлении планов проведения ремонта жилого фонда. **Методы:** теоретико-множественное моделирование, формальные порождающие грамматики, дискретная оптимизация и механизмы комплексного оценивания. **Результаты:** предложен инструмент диагностирования причин непредоставления предусмотренных пользовательских услуг или последствий технологических и эксплуатационных процессов, в основе которого лежит построение теоретико-множественной модели согласования множеств предоставляемых услуг и технических параметров многоквартирных домов. Обеспечена функциональная полнота системы механизмов согласования, обеспечивающая равновесие в рассматриваемом классе сложных организационных систем. Поставлена и решена задача согласования композиций планов выполнения ремонта жилого фонда. **Практическая значимость:** предложен вариант цифровизации процесса управления проектами ремонтно-восстановительных работ на основе автоматизированных систем и механизмов согласования планов. Предложенный инструмент построен при помощи формальных порождающих грамматик типа 2, эффективных процедур измерения и прогнозирования параметров технических подсистем и выполнения ремонтно-восстановительных работ и способен обеспечить высокую эффективность управления проектами. Согласование групп проектов обеспечивает значительную экономию ресурсов.

Ключевые слова: управление проектами, ремонтно-восстановительные работы, инструмент диагностирования причин и последствий, объекты жилой недвижимости, механизмы согласования, теоретико-множественная модель, формальные системы, дискретная оптимизация, стоимость восстановления, бесперебойное предоставление услуг.

N.I. Safonov, V.A. Kharitonov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

INTERNAL-PROJECT CONTRADICTIONS AGREEMENT MECHANISMS UPON CARRYING OUT REPAIR AND REMEDIAL WORKS DRAWING UP PLANS AND THEIR COMPOSITIONS

The basis for higher level ensuring of housing management efficiency transition possibility in general coordinated management of repair and restoration projects in individual residential real estate objects relation. A hypothesis is proposed about the possibility of achieving deep mutual correspondence of the many services provided and maintaining the corresponding technical condition of apartment buildings. The proposed hypothesis is based on the established paradigm of normalizing the processes of designing real estate objects, which guarantees the provision of services to owners based on the achieved set values of the parameters of structural elements characterizing the level of technical condition of the building subsystems. The study aims to develop and systematize mechanisms for reconciling intra-project conflicts in the preparation of plans for the repair of housing stock. **Methods:** set-theoretic modeling, formal generative grammars, discrete optimization, and complex estimation mechanisms. **Results:** a tool is proposed for diagnosing the reasons for not providing the provided user services or the consequences of technological and operational processes, which is based on the construction of a set-theoretic model for matching the sets of services and technical parameters of apartment buildings. The functional completeness of the system of coordination mechanisms is ensured, which ensures balance in the class of complex organizational systems under consideration. The task of coordinating the composition of plans for the implementation of housing repairs has been posed and solved. **Practical relevance:** a digitalization option is proposed for the process of project management of repair and restoration work based on automated systems and mechanisms for coordinating plans. The proposed tool is built using formal generating grammars of type 2, effective procedures for measuring and predicting the parameters of technical subsystems and performing repair and restoration work and can provide high project management efficiency. Harmonization of project groups provides significant resource savings.

Keywords: project management, repair and restoration work, diagnosing causes and consequences tool, residential real estate objects, coordination mechanisms, set-theoretic model, formal systems, discrete optimization, restoration cost, uninterrupted services provision.

Введение. Согласованное управление проектами ремонтно-восстановительных работ (далее – РВР) в отношении отдельных объектов жилой недвижимости является базой для обеспечения возможности перехода на более высокий уровень эффективности процесса управления жилым фондом в целом. Любой многоквартирный дом (далее – МКД) как объект недвижимости (далее – ОН) целесообразно сопоставлять с определенной социально-экономической системой и относить к классу сложных систем, поскольку ей присущи все общепринятые [1] виды сложности:

– структурная сложность, проявляющаяся при рассмотрении ОН в единстве физических, экономических, социальных и правовых свойств, каждое из которых представляет ОН как многоэлементный

объект с большим количеством внутренних и внешних связей, подсистем и иерархических уровней, включающих в себя множество разнообразных субъектов управления: собственников МКД, представителей внешнего окружения, сотрудников управляющей организации, экспертов, подрядчиков и др.;

– сложность функционирования (поведения), определяемая степенью соответствия технических характеристик множеств состояний подсистем и предоставляемых собственникам услуг в соответствии с предпочтениями субъектов управления, нуждающихся в установлении согласованных правил перехода из состояния в состояние, характеризующееся непрерывным нарастанием физического износа и периодическим выполнением РВР, а также степенью неопределенности условий эксплуатации и действия внешней среды;

– сложность целевого выбора поведения субъектов управления (принятия решений) в многоальтернативных ситуациях, которая определяется характеристиками целенаправленности системы, гибкостью ее реакции на заранее неизвестные воздействия среды функционирования ОН, включая изменение экономической политики, отношений на рынках продажи и аренды жилой недвижимости и стратегий использования прилегающих территорий;

– сложность развития ОН, определяемая мировыми тенденциями к автоматизации и цифровизации процессов управления жилой недвижимостью через разработку и планирование процессов модернизации технических подсистем, включая использование искусственного интеллекта при решении задач выбора.

В связи с тем, что анализ сложных систем осуществляется с использованием методологии системного подхода, в данной работе предлагается использовать два основных принципа:

– принцип многомодельности, отличающийся особым учетом человеческого фактора на основе разнообразных моделей, учитывающих поведение субъектов управления при решении широкого класса задач планирования РВР;

– принцип системности, в котором согласованность целого и частей системы (компонентов, элементов) отвечает примату целого над частями при активной роли множества человеческих факторов.

1. Проблема согласования предоставляемых услуг и технических параметров МКД. Для обеспечения выполнения предусмотрен-

ных в проекте услуг, оказываемых собственникам жилья, и поддержания соответствующего технического состояния МКД предлагается реализация проверенной на практике и сформулированной в настоящей статье гипотезы об их глубоком взаимном соответствии. Предложенная гипотеза основана на сложившейся парадигме нормирования процессов проектирования ОН, гарантирующей предоставление собственникам услуг при достижении установленных значений технических параметров, характеризующих уровень состояния подсистем ОН. Данный подход отражается в описанной ниже теоретико-множественной модели (далее – ТММ) согласования множеств предоставляемых услуг и технических параметров МКД, которая способна привести к конструктивным решениям в области диагностирования причин непредоставления предусмотренных пользовательских услуг или последствий технологических и эксплуатационных процессов.

Установим соответствие C между множествами характеристик технических подсистем ОН \bar{y} и услуг \bar{u} для собственников МКД $C \subseteq \bar{y} \times \bar{u}$, где u соответствует y при соответствии C . Множество характеристик $pr_1 C = \bar{y}$ является областью определения полностью определенного соответствия C . Множество услуг $pr_2 C = \bar{u}$ свидетельствует о том, что соответствие C сюръективно. Каждое подмножество предоставляемых услуг $\rho^{\bar{u}} \in B(\bar{u})$, соответствующих элементу $u \in \bar{u}$, будет образом (следствием) y в множестве \bar{u} при соответствии C , $B(\bar{u})$ – оператор булеана над множеством \bar{u} . Каждое подмножество характеристик технических подсистем $\rho^{\bar{y}} \in B(\bar{y})$, которым соответствуют $u \in \bar{u}$, будет прообразом (причиной) y в \bar{y} при соответствии C^{-1} , $B(\bar{y})$ – оператор булеана над множеством \bar{y} (рис. 1).

Представленная ТММ может иметь конструктивное значение для перспективных автоматизированных систем обслуживания ОН. С технической точки зрения соответствия C и C^{-1} могут быть реализованы в виде матрицы, представленной в форме таблицы с размерностью $|\bar{y}| \times |\bar{u}| = |\bar{u}| \times |\bar{y}|$, которая может использоваться в прямом или транспонированном виде соответственно.

Соответствие C может быть реализовано в виде решающего правила, отвечающего на вопрос оценки последствий неисправности $\rho^{\bar{y}}$

технических подсистем в виде множества $\rho^{\bar{u}}$, не исполненных в отношении собственников услуг (1).

$$\rho^{\bar{u}} \bigcup_{\rho^{\bar{y}}} np_2 C, C \subseteq \bar{y} \times \bar{u}, \quad (1)$$

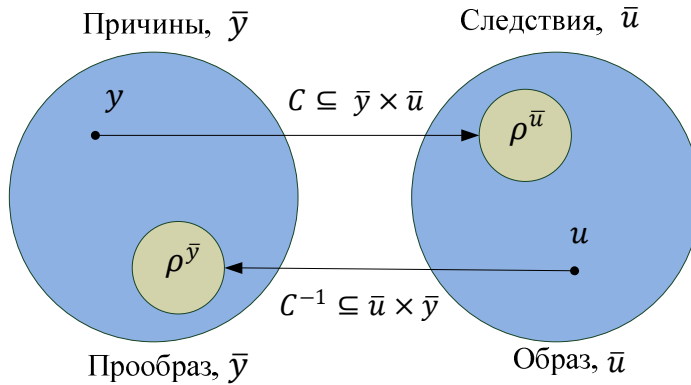


Рис. 1. Теоретико-множественная модель гипотезы в форме соответствия C

Соответствие C^{-1} может быть реализовано в виде решающего правила, отвечающего на вопрос оценки всех возможных причин неисполнения услуг $\rho^{\bar{u}}$ в виде множества возможных неисправностей технических подсистем $\rho^{\bar{y}}$, приводящих к этому (2):

$$\rho^{\bar{y}} \bigcup_{\rho^{\bar{u}}} np_1 C^{-1}, C^{-1} \subseteq \bar{u} \times \bar{y}, \quad (2)$$

События, представленные выражениями (1), (2), ведут к необходимости составления и реализации планов проведения РВР. Эти процессы могут осуществляться в условиях неантагонистических противоречий между заинтересованными лицами, преодолеть которые предлагается посредством специально разрабатываемых механизмов согласования, обеспечивающих равновесие в рассматриваемом классе сложных организационных систем. Поэтому актуальным является решение задачи систематизации и развития системы механизмов согласования, которая требует обеспечения функциональной полноты этого объекта исследования на современных этапах развития РВР как основного инструмента управления проектами (изменениями) МКД.

2. Механизмы согласования внутрипроектных противоречий при составлении планов проведения ремонтно-восстановительных работ. Поставленную задачу целесообразно решить на основе применения и построения формальных систем, справедливо называемых формальными порождающими грамматиками, способных к воспроизводству механизмов с функциями согласования решений взаимодействующих субъектов с несовпадающими интересами.

Формальные системы перечисления результативных процедур планирования РВР строятся в соответствии с правилами вывода, включающими в себя металингвистические формулы и переменные. Это свидетельствует о необходимости применения порождающих КС грамматик, т.е. грамматик типа 2, все правила которых имеют вид $A \rightarrow \alpha$, где $\alpha \in (V \cup W)^*$, где α – цепочка в алфавите $V \cup W$, V – алфавит терминальных (основных) символов, W – алфавит не терминальных (вспомогательных) символов. В порождающую грамматику G также входят: I – начальный символ (аксиома) грамматики и P – правила вывода слов, доказательств теорем T о существовании результатов [2], например: $I \xrightarrow{T_1} G^{t_p}$ – теорема о существовании планов РВР, включая время их реализации t_p .

Первое правило вывода P_1 :

$$P_1 : I \rightarrow \varepsilon_1 \rho^{\bar{u}} I := \rho_1^{\bar{u}} | \rho_2^{\bar{u}} | \rho_3^{\bar{u}} | \dots I \quad (3)$$

обозначает решение задачи выбора подмножества услуг $\rho^{\bar{u}}$, внутренне согласованных с возможными инициаторами технической экспертизы подсистем МКД: потребителями услуг – собственниками, специалистами управляющей организации, внешним окружением и др., руководствуясь группой эвристик ε_1 , смежно согласованных с экспертами (1), согласно правилу вывода P_2 (4). Существо согласования заключается в установлении истинных причин, связанных с отклонением параметров технических характеристик, следствием которых явилась инициатива $\rho^{\bar{u}}$.

$$P_2 : I \rightarrow \varepsilon_2 \rho^{\bar{y}} I := \rho_1^{\bar{y}} | \rho_2^{\bar{y}} | \rho_3^{\bar{y}} | \dots I. \quad (4)$$

Под эвристикой [3] понимается совокупность логических принципов и методических правил теоретического исследования, участвующих в обосновании простейших интуитивных решений типа Inside

[4], образующих три основные группы: эвристики репрезентативности, доступности, а также «привязки и коррекции» [3].

Правило вывода P_3 (5) предполагает осуществление измерения фактического состояния технических параметров в момент времени t_0 :

$$P_3 : I \rightarrow \varepsilon_3 \rho^{\bar{y}}(t_0) I := \rho_1^{\bar{y}}(t_0) | \rho_2^{\bar{y}}(t_0) | \rho_3^{\bar{y}}(t_0) | \dots I. \quad (5)$$

где эвристики ε_3 используются для обоснования выбора метода измерения фактического состояния технических параметров, соответствующего требованиям задач прогнозирования в соответствии с допустимыми параметрами погрешностей, исходя из баланса трудоемкости (затратности) и реальных исходных данных, связанных с правилом вывода P_4 (6), и рассчитанными на длительность прогноза kT

$$P_4 : I \rightarrow \varepsilon_4 \rho^{\bar{y}}(t_0 + kT) I := \rho_1^{\bar{y}}(t_0 + kT) | \rho_2^{\bar{y}}(t_0 + kT) | \rho_3^{\bar{y}}(t_0 + kT) | \dots I, \quad (6)$$

Результаты измерения и прогнозирования транзитивно и смежно согласуются с решением задачи обоснования желаемых значений технических характеристик, устанавливаемых правилом P_5 ,

$$P_5 : I \rightarrow \varepsilon_5 \hat{Y}_{ж}(\bar{y}) I := \hat{Y}_{ж_1}(\bar{y}) | \hat{Y}_{ж_2}(\bar{y}) | \hat{Y}_{ж_3}(\bar{y}) | \dots II, \quad (7)$$

и уточняются с техническим заданием на разработку проектов подрядными организациями, на основе проведения предварительного внутреннего согласования со специалистами управляющей организации с помощью модифицированной процедуры активной экспертизы [5] на базе обобщенной медианы. Использование двойного знака аксиомы вывода II в (7) (для возвращения вывода на согласование с управляющей организацией по отношению к стоимости и качеству продукта) объясняется обеспечением переноса процедуры в другую (подрядную) организацию, использующую рыночные методы согласования. Правило P_6 :

$$P_6 : I \rightarrow \varepsilon_6 \hat{Y}_{\Pi}(\bar{z}) I := \hat{Y}_{\Pi_1}(\bar{z}) | \hat{Y}_{\Pi_2}(\bar{z}) | \hat{Y}_{\Pi_3}(\bar{z}) | \dots I. \quad (8)$$

Внутреннее согласование в среде подрядных организаций носит конкурентный характер и осуществляется на основе различных методов стимулирования, что представлено правилом вывода P_7 (9). Продолжение процедуры вывода осуществляется по второй аксиоме вывода после окончательного согласования стоимости и качества работ и услуг с подрядной организацией для дальнейшего согласования

с коллективом собственников, где так же рекомендуется использовать модифицированную процедуру активной экспертизы на основе обобщенной медианы:

$$P_7 : I \rightarrow \varepsilon_7 \hat{Y}_{\text{ж}}(\bar{y}) \times \hat{Y}_{\Pi}(\bar{z}) I := S_1(\hat{Y}_{\text{ж}_{11}}) | S_2(\hat{Y}_{\text{ж}_{12}}) | S_3(\hat{Y}_{\text{ж}_{13}}) | \dots I. \quad (9)$$

Согласование цены и качества проекта РВР на основе учета предпочтений собственников в виде удовлетворенности качеством предоставляемых услуг осуществляется правилом P_8 :

$$P_8 : I \rightarrow \varepsilon_8 \hat{Y}_{\text{пр}}(\bar{y}) \times \rho^{\bar{u}}(S) I := S_1(\rho^{\bar{u}}) | S_2(\rho^{\bar{u}}) | S_3(\rho^{\bar{u}}) | \dots I, \quad (10)$$

после чего исполнение проекта связывается только с оптимизацией времени t_p реализации. Эта процедура согласования, обозначенная правилом вывода P_9 :

$$P_9 : I \rightarrow \varepsilon_9 \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_p I := \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_{p_1} | \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_{p_2} | \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_{p_3} | \dots I, \quad (11)$$

и решает задачу установления баланса, основанного на минимизации потерь упущенной выгоды и затрат на реализацию проектов РВР. Полная схема вывода представлена выражением (12), свидетельствующим о результативном выводе (доказательстве теоремы T_1):

$$\begin{aligned} I &\xrightarrow{T_1} {}_G t_p = P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, I, P_6, P_7, P_8, P_9 = \\ &= \varepsilon_1 \rho^{\bar{u}} \varepsilon_2 \rho^{\bar{y}} \varepsilon_3 \rho^{\bar{y}}(t_0) {}_4 \rho^{\bar{y}}(t_0 + kT) \varepsilon_5 \hat{Y}_{\text{ж}}(\bar{y}) I = \\ &= P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 \varepsilon_6 \hat{Y}_{\Pi}(\bar{z}) \varepsilon_7 \hat{Y}_{\text{ж}}(\bar{y}) \times \hat{Y}_{\Pi}(\bar{z}) \varepsilon_8 \hat{Y}_{\text{пр}}(\bar{y}) \times \rho^{\bar{u}}(S) \varepsilon_9 \overline{\rho^{\hat{y}}}, t_p. \end{aligned} \quad (12)$$

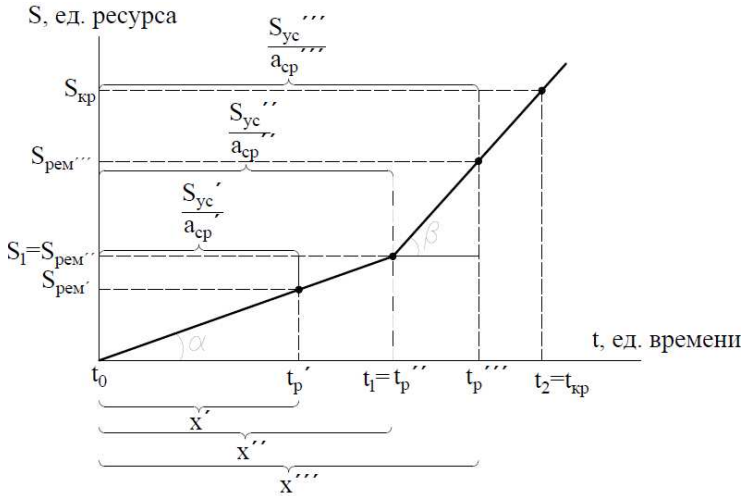
Полученный результат свидетельствует о наличии широкого выбора механизмов согласования. Это связано с лингвистическими переменными в правилах вывода и возможностями их расширения в процессе инновационного развития.

В следующем разделе осуществлены постановка и решение задачи согласования времени выполнения композиции планов РВР. Основные атрибуты формальной системы могут быть адаптированы для решения задачи перечисления множества альтернативных выводов при поиске наилучших вариантов решения.

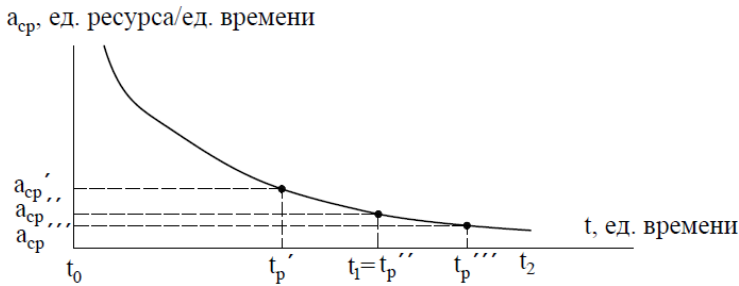
3. Механизмы оптимизации согласования времени выполнения композиции планов ремонтно-восстановительных работ. Технически и экономически целесообразно одновременное осуществление

нескольких РВР. Это позволит сократить общие потери в непрерывном предоставлении собственникам МКД пользовательских услуг на основе экономии затрачиваемых на работу ресурсов. Получаемый эффект зависит от организации выполнения РВР, в основе которой должны лежать механизмы согласования планов. В складывающихся условиях влияния внешней среды и выполнения функциональных задач процессы нарастания физического износа технических подсистем МКД характеризуются различной динамикой, даже при одновременном завершении предшествующих процессов восстановления. Это обстоятельство ставит различные условия для определения оптимальных сроков исполнения планов РВР, которые могут не совпадать для всех технических подсистем МКД. Превышение оптимального срока выполнения плана РВР приводит к росту стоимости этих работ, а опережение – к упущенной выгоде, связанной с неполным использованием ранее оплаченного срока эффективной эксплуатации технических подсистем. При этом возникает задача назначения оптимального времени начала РВР для сформированной группы объектов совместного ремонтного обслуживания на множестве вариантов. Решение этой задачи основывается на понимании закономерности связей между процессами предоставления потребительских услуг и уровнем износа соответствующих технических подсистем. Зависимость физического износа от срока службы является нелинейной, в общих чертах описывается логистическими кривыми [6]. Для более детального анализа становятся востребованными различные методы оценивания текущих и прогнозирования будущих состояний как технических подсистем, так и отдельных характеристик их элементов, которые целесообразно рассматривать с позиции расхода ресурсов на восстановление как функции $S(t)$ (рис. 2, а). В связи с тем, что основным ресурсом для восстановления технических подсистем и их характеристик являются финансовые затраты, далее будем использовать понятие «стоимость восстановления». В этом случае для принятия решений о выборе времени начала ремонта может быть важным значение цены, полученной практическим расчетом и близкой к реальной стоимости восстановления износа, которую можно разделить на две существенные по продолжительности фазы [7]. Первая фаза характеризуется слабо выраженным увеличением стоимости восстановления после очередного этапа выполнения РВР. Вторая фаза характеризуется усиленным нарастанием физического износа и стоимости восстановления соответственно.

С целью упрощения математической обработки данных о получении стоимости восстановления технических подсистем и их характеристик в зависимости от срока службы на рис. 2, а представлены линеаризованные части кривой стоимости восстановления на различных фазах изменения физического износа: $[t_0, t_1]$ – первая фаза, $(t_1, t_2]$ – вторая фаза.



а



б

Рис. 2. Временные взаимосвязности стоимости восстановления (а) и прогнозируемого бесперебойного предоставления услуг собственникам (б) как продукта РВР

Базовой моделью описания формирования средней цены $a_{ср}$ прогнозируемого бесперебойного предоставления услуг собственникам как продукта РВР – x предлагается описать следующим выражением:

$$a_{срi}(x) = \frac{S_i}{x}, \quad (13)$$

где $x = t_p - t_0$ при $t_p \in [t_0, t_{2i}]$, t_1, t_2 – аргументы функции стоимости восстановления технических подсистем и их характеристик, отделяющие интервалы ее постепенного с коэффициентом $n_1 = \text{tg}(\alpha)$ (до уровня S_1) и ускоренного с коэффициентом $n_2 = \text{tg}(\beta)$, $n_2 > n_1$, (до уровня $S_{\text{кр}}$) роста соответственно (см. рис. 2, а). Для отдельной взятой технической подсистемы или ее характеристики точку $S(t_1)$ следует считать оптимальной; t_0 – момент окончания предыдущего этапа выполнения РВР для отдельной технической подсистемы или ее характеристики; $t_{\text{кр}}$ – момент достижения технической подсистемой или ее характеристикой предельного значения физического износа; $S_1, S_{\text{кр}}$ – величины стоимости восстановления до уровня, отвечающего требованиям нормативных документов для данного класса, технической подсистемы или ее характеристики в момент времени t_1, t_2 соответственно. Промежуточные значения стоимости восстановления технических подсистем и их характеристик предлагается определять следующим образом:

$$S(t) = \begin{cases} n_1 t, & t \in [t_0, t_1] \\ n_2 t, & t \in (t_1, t_2] \end{cases}. \quad (14)$$

Качественное отображение зависимости (13) представлено на рис. 2, б, где выделены три варианта формирования значений функции $a_{\text{cp}}(x)$: $a'_{\text{cp}}(t')$, $a''_{\text{cp}}(t'')$, $a'''_{\text{cp}}(t''')$, иллюстрирующие достижение некоторого прогнозируемого интервала времени предоставления услуг на фоне текущего времени t .

Из рис. 2, б следует, что при изменении времени от t_1 до t_0 наблюдается увеличение (стремление к бесконечности) стоимости единицы времени бесперебойного предоставления потребительских услуг, а при изменении времени от t_1 до t_2 наблюдается постепенное снижение (стремление к нулю) стоимости единицы времени бесперебойного предоставления потребительских услуг – продукта РВР. Величина бесперебойного предоставления потребительских услуг является показателем эффективности с точки зрения использования уже затраченных ресурсов.

При увеличении периода эксплуатации технической подсистемы без проведения ремонта происходит уменьшение стоимость безава-

рийной работы. Однако одновременно с этим происходит увеличение стоимости восстановления технической подсистемы или ее характеристики. В данном случае возникает задача согласованного поиска оптимального решения, которую можно представить в виде следующих показателей:

$$y_i : S_{\text{рем}}(t_0, t_p, t_{1i}, t_{2i}, n_{1i}, n_{2i}), i \in \overline{1, I}, \quad (15)$$

где I – количество подлежащих ремонту СК.

Помимо нахождения оптимального решения (15) в практике возникает необходимость корректировки времени выполнения работ и оценки последствий отклонения от расчетного значения t_p^{opt} . Момент фактического выполнения ремонтных работ t_p на практике может отличаться от момента t_p^{opt} как в большую, так и в меньшую сторону.

При несовпадении t_p и t_1 меняется значение оценки расходов на оплату в зависимости от интервала $(t_1, t_p]$ для случая опережения сроков выполнения работ и интервала $(t_p, t_1]$ для случая с отложенным ремонтом. Для каждой характеристики или технической подсистемы в зависимости от времени t_p может быть найдено множество значений средней цены a_{cp} прогнозируемого бесперебойного предоставления услуг собственникам и стоимости восстановления $S_{\text{рем}}$. Данные значения определяют объем ресурсов, необходимых на восстановление характеристики или технической подсистемы в целом. Оптимальное время начала выполнения ремонтных работ определяется минимальными затратами ресурсов на выполнение работ $S_{\text{рем}}$, а также одновременной минимизацией упущенной выгоды в виде недоиспользования оставшегося ресурса и максимизации эффективности использования затраченного в момент времени t_0 ресурса, что можно представить как минимизацию a_{cp} . Данную процедуру можно представить в следующем виде:

$$A_{\text{cp}} = \sum_1^I a_{\text{cpi}}(S_i, t_p, t_0) = \sum_1^I \frac{S_i}{t_p - t_0}, \quad t_0 \leq t_p \leq t_{2i}, \quad (16)$$

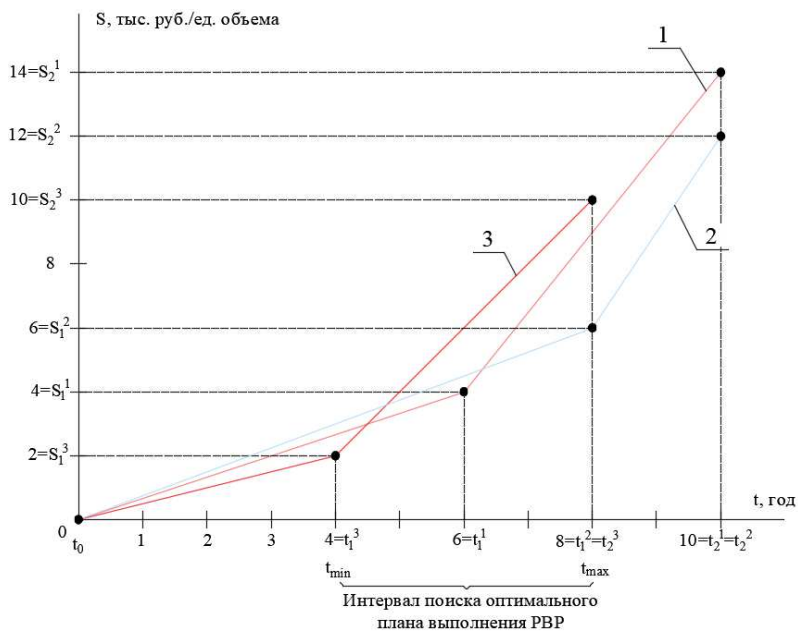
$$S_{\text{рем}} = \sum_1^I S_{\text{рем}i}(t_0, t_p, t_{1i}, t_{2i}, n_{1i}, n_{2i}) = \sum_1^I \begin{cases} n_{1i}(t_{1i} - t_p), & t_0 < t_p \leq t_{1i}, \\ S_{1i} + n_{2i}(t_p - t_{1i}), & t_{1i} < t_p \leq t_{2i}. \end{cases} \quad (17)$$

Для поиска оптимального соотношения A_{cp} и $S_{\text{рем}}$ целесообразно ввести весовые коэффициенты k_1 и k_2 , отражающие согласованные предпочтения собственников в отношении затрат ресурсов и упускаемой выгоды при выполнении РВР. Использование весовых коэффициентов обусловлено особенностью, заключающейся в том, что a_{cp} определяется объемом уже затраченного ресурса (в момент времени t_0), а стоимость восстановления технической характеристики $S_{\text{рем}}$ определяет объем ресурса, который необходимо затратить. В связи с этим, в зависимости от предпочтений собственников в отношении эффективности использования уже затраченного в предыдущий период ресурса и объема ресурса, необходимого в текущий момент, находится оптимальная продолжительность времени выполнения ремонта t_p^{opt} как аргумент от выражения:

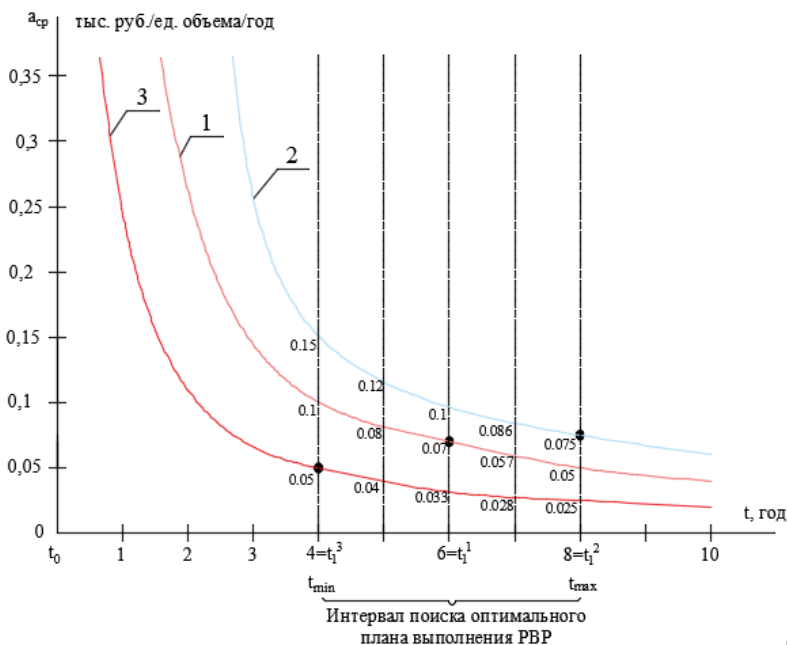
$$t_p^{\text{opt}} = \arg \sup (\hat{X}(t_p)) = \arg \sup (\hat{X}_a(A_{\text{cp}}(t_p))k_1 + \hat{X}_s(S_{\text{рем}}(t_p))k_2), \quad (18)$$

где $k_1 + k_2 = 1$, $k_1, k_2 < 1$.

Для иллюстрации описанного выше механизма представим решение задачи поиска оптимального времени начала выполнения ремонта строительных конструкций (далее – СК) в МКД. По результатам оценки технического состояния подсистем разрабатывается перечень необходимых РВР, которые разбиваются на группы по принципу возможности их одновременного исполнения с целью обеспечения экономии ресурсов, которая может достигать 20 %. Для решения задачи необходимо оптимизировать такие показатели эффективности, как затраты ресурсов для выполнения РВР (для данной задачи – стоимость тыс.руб./ед. объема) и затраты на бесперебойное предоставление собственникам услуг (для данной задачи – стоимость тыс. руб./ед. объема). В данном примере в группу СК входят наружные и внутренние стены (кирпичные), фундаменты (ленточные железобетонные) и перекрытия (железобетонные). На рис. 3, а представлены графики изменения стоимости восстановления рассматриваемых СК в зависимости от срока эксплуатации: 1 – для фундаментов, 2 – для перекрытий, 3 – для стен.



а



б

Рис. 3. График зависимости стоимости восстановления СК от срока службы (а) и стоимости единицы продукта РВР (бесперебойного предоставления услуг собственникам) от времени выполнения РВР для СК в составе группы (б)

Для сокращения трудоемкости процесса вычисления из срока службы всех СК в составе группы необходимо выделить интервал $[t_{\min}, t_{\max}]$ с оптимальным временем на реализацию проекта выполнения РВР. Нижняя граница интервала t_{\min} определяется как наименьшее из значений точек на оси абсцисс, характеризующих прогнозируемый переход каждой СК в составе группы из первой во вторую фазу физического износа:

$$t_{\min} = \min(t_1^1, t_1^i), \quad i \in \overline{1, n}, \quad (19)$$

где n – количество СК в составе группы.

Верхняя граница интервала t_{\max} определяется как наименьшее из значений точек на оси абсцисс, характеризующих прогнозируемое достижение какой-либо СК в составе группы предельного значения физического износа:

$$t_{\max} = \min(t_2^1, t_2^i), \quad i \in \overline{1, n}. \quad (20)$$

Период дискретности искомой переменной t_p^{opt} определяется из требования обеспечения достаточной точности. Результаты моделирования показаны на рис. 4, 5.

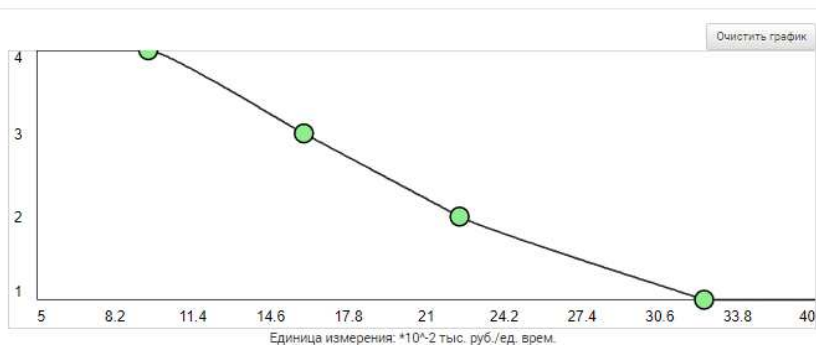
На рис. 3, б представлены графики зависимости стоимости единицы продукта РВР (бесперебойного предоставления услуг собственникам) от времени выполнения РВР.

Поиск оптимального времени выполнения ремонта t_p^{opt} осуществляется методом дискретной оптимизации с использованием модели комплексного оценивания. Для этого использовано алгоритмическое обеспечение задач ранжирования и выбора на основе линейных сверток «Декон–Джобс».

Модель комплексного оценивания предназначена для поиска момента реализации РВР, при котором наблюдается оптимальное, с позиции собственников, соотношение характеристик «цена бесперебойного предоставления услуг» и «стоимость восстановления СК». В составе модельного примера построены функции приведения для каждой характеристики (см. рис. 4).

Функция приведения для характеристики объектов

Цена бесперебойной работы, аср(тр)



Опорные точки

Зафиксировать

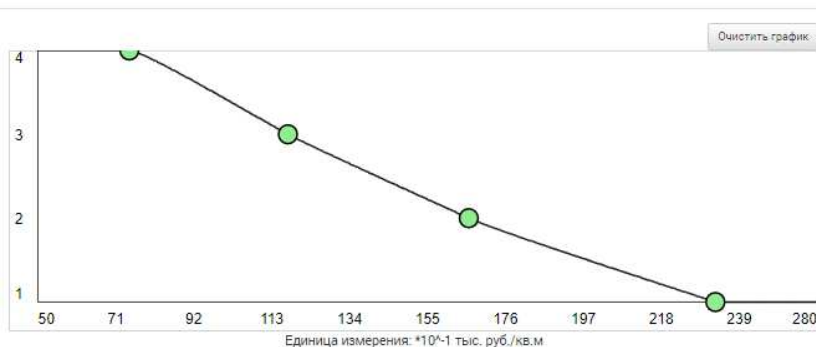
[+ Добавить](#) [▶ Построить по точкам](#)

Значение характеристики объектов	Оценка
10	4
17	3
24	2
35	1

а

Функция приведения для характеристики объектов

Стоимость ремонта, S(тр)



Опорные точки

Зафиксировать

[+ Добавить](#) [▶ Построить по точкам](#)

Значение характеристики объектов	Оценка
77	4
123.8	3
177.2	2
250	1

б

Рис. 4. Функция приведения для характеристики «цена бесперебойного предоставления услуг» (а) и «стоимость восстановления СК» (б)

Для иллюстрации возможных вариантов нахождения t_p^{opt} в модельном примере решение задачи осуществлено при использовании трех вариантов значений взвешенных коэффициентов k_1, k_2 . Результаты моделирования представлены на рис. 5.

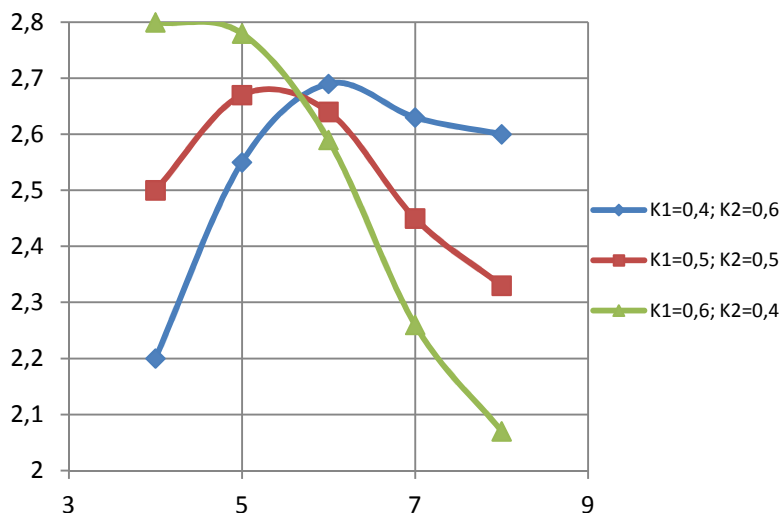


Рис. 5. Модельный пример оптимизации времени совместного выполнения РВР СК по критерию комплексного оценивания цены услуг и стоимости проектов при назначенных взвешенных коэффициентах k_1, k_2

На рис. 5 показано, что в зависимости от предпочтений собственников в отношении полноты использования уже затраченных ресурсов, которые определяют экономию или упущенную выгоду до момента выполнения очередного ремонта, и объема ресурсов, необходимых для восстановления СК, происходит смещение оптимального значения времени выполнения ремонта t_p^{opt} .

Выводы. Цифровизация процесса управления проектами ремонтно-восстановительных работ посредством внедрения автоматизированных систем и механизмов согласования планов, построенных на основе формальных порождающих грамматик, эффективных процедур измерения и прогнозирования параметров технических подсистем и выполнения ремонтно-восстановительных работ, способна обеспечить высокую эффективность управления проектами в строительстве. Как показывает практика, согласование групп проектов может обеспечивать до 20 % экономии ресурсов.

Авторами поставлена и решена задача согласования композиций планов выполнения ремонтно-восстановительных работ. Предложенная теоретико-множественная модель согласования вариантов предоставляемых услуг и технических параметров многоквартирных домов может быть использована в практике как эффективный инструмент диагностирования причин не предоставления предусмотренных пользовательских услуг или последствий технологических и эксплуатационных процессов. Предложенная модель обеспечивает функциональную полноту в механизмах согласования, что способствует достижению равновесия в рассматриваемом классе сложных организационных систем. Данные результаты могут быть использованы в других предметных областях строительной отрасли.

Библиографический список

1. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Ч.1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. – М: Министерство обороны СССР, 1990. – 522 с.
2. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
3. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности. Правила и предубеждения. – 2-е изд., испр., перераб. / пер. с англ. – Харьков: Изд-во «Гуманитарный центр», при участии О.В. Гритчиной, 2014. – 544 с.
4. Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений: монография / В.А. Харитонов [и др.]; под ред. В.А. Харитонova. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 342 с.
5. Дмитриюков М.С., Харитонов В.А., Сафонов Н.И. Совершенствование механизма активной экспертизы на основе обобщенных медианных схем для задач многоаспектного управления в социально-экономических системах // Прикладная математика и вопросы управления. - 2016. - № 2. – С. 41-45.
6. Попова О.Н., Симакина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7(42). – С. 40-50.

7. Федоров В.В., Федорова Н.Н., Сухарев Ю.В. Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 224 с.

8. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2012. – 604 с.

9. Бурков В.Н., Исаков М.Б., Коргин Н.А. Применение обобщенных медианных схем для построения неманипулируемых механизмов многокритериальной активной экспертизы // Проблемы управления. – 2008. – № 4. – С. 38-47.

10. Алексеев А.О., Коргин Н.А. О применении обобщенной медианной схемы для матричной активной экспертизы // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 1. – С. 170–177.

11. Андронникова Н.Г., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Механизмы нечеткой активной экспертизы // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 8. – С. 128–135.

12. Харитонов В.А., Кривоги́на Д.Н., Сафонов Н.И. Укращение субъективности в задачах автоматизации и управления технологическими процессами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2017. – № 2(6). – С. 79–89.

13. Харитонов В.А., Кривоги́на Д.Н., Сафонов Н.И. Инструментальные средства «соединения креативности и технологичности» в задачах выбора // Управление большими системами (УБС-2017): материалы XIV Всерос. школы-конф. молодых ученых; Пермь, 04-08 сентября 2017 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 132–140.

14. Иванов К.А. Разработка структуры экономико-математической модели согласования интересов в сфере ЖКХ на муниципальном уровне // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 445–451.

15. Ларин С.Н., Малков У.Х. Применение методологии когнитивного моделирования для повышения качества услуг управляющих компаний в сфере ЖКХ // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2015. – № 22(307). – С. 53–63.

16. Гришкова Н.С., Нижегородцев Р.М. К вопросу государственного регулирования развития предприятий жилищно-коммунального хозяйства // Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2017. – № 4. – С. 136–139.

17. Pola G., Benedetto M.D.D. Control of Cyber-Physical-Systems with logic specifications: A formal methods approach // *Annual Reviews in Control.* – 2019. – Vol. 47. – P. 178–192.

18. Exploiting Segmentation and Context in Deep Neural Networks for Object Detection / Y. Zhu, R. Urtasun, R. Salakhutdinov, S. Fidler // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).* – 2015. – P. 4703–4711.

19. Ponsich A., Jaimes A.L., Coello C.A.C. A survey on multiobjective evolutionary algorithms for the solution of the portfolio optimization problem and other finance and economics applications // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation.* – 2013. – Vol. 17. – P. 321–344.

20. Chen Y., Zhang G. Exchange rates determination based on genetic algorithms using mendel's principles: Investigation and estimation under uncertainty // *Information Fusion.* – 2013. – Vol. 14. – P. 327–333.

References

1. Reznikov B.A. *Sistemnyi analiz i metody sistemotekhniki. Chast' 1. Metodologiya sistemnykh issledovaniy. Modelirovaniye slozhnykh sistem* [System analysis and systems engineering methods. Part 1. System research methodology. Complex systems modeling]. Moscow: Ministerstvo oborony SSSR, 1990, 522 p.

2. Kuznetsov O.P., Adel'son-Vel'skii G.M. *Diskretnaya matematika dlya inzhenera* [Discrete mathematics for engineers]. 2nd ed. Moscow: Energoatomizdat, 1988, 480 p.

3. Kaneman D., Slovik P., Tverski A. *Priniatie reshenii v neopredelennosti. Pravila i predubezhdeniya* [Decision making in uncertainty rules and prejudices]. 2nd ed. Khar'kov: Gumanitarnyi tsentr, pri uchastii O.V. Gritchinoi, 2014, 544 p.

4. Kharitonov V.A. ed al. *Intellektual'nye tekhnologii obosnovaniya innovatsionnykh reshenii* [Intelligent technologies of innovative solutions justification]. Ed. V.A. Kharitonov. Perm': Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2010, 342 p.

5. Dmitriukov M.S., Kharitonov V.A., Safonov N.I. *Sovershenstvovanie mekhanizma aktivnoi ekspertizy na osnove obobshchennykh mediannykh skhem dlya zadach mnogoaspektного upravleniya v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh* [Mechanism of active examination improving based on generalized median schemes for problems of multidimensional

management in socio-economic systems]. *Prikladnaia matematika i voprosy upravleniia*, 2016, no. 2, pp. 41-45.

6. Popova O.N., Simakina T.L. Metodika otsenki resursa rabotosposobnosti konstruktivnykh elementov zhilykh zdaniy [Residential buildings structural elements methodology for assessing the service life]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*, 2013, no. 7(42), pp. 40-50.

7. Fedorov V.V., Fedorova N.N., Sukharev Iu.V. Rekonstruktsiia zdaniy, sooruzhenii i gorodskoi zastroiki [Buildings, structures and urban development reconstruction]. Moscow: INFRA-M, 2011, 224 p.

8. Novikov D.A. Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami [Theory of organizational systems management]. 3rd ed. Moscow: Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 2012, 604 p.

9. Burkov V.N., Isakov M.B., Korgin N.A. Primenenie obobshchennykh mediannykh skhem dlia postroeniia nemanipuliruemyykh mekhanizmov mnogokriterial'noi aktivnoi ekspertizy [Generalized median schemes application for constructing multi-criteria active examination non-manipulable mechanisms]. *Problemy upravleniia*, 2008, no. 4, pp. 38-47.

10. Alekseev A.O., Korgin N.A. O primeneniі obobshchennoi mediannoi skhemy dlia matrichnoi aktivnoi ekspertizy [About generalized median scheme application for matrix active examination]. *Prikladnaia matematika i voprosy upravleniia*, 2015, no. 1, pp. 170-177.

11. Andronnikova N.G., Leont'ev S.V., Novikov D.A. Mekhanizmy nechetkoi aktivnoi ekspertizy [Fuzzy active examination mechanisms]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2002, no. 8, pp. 128-135.

12. Kharitonov V.A., Krivogina D.N., Safonov N.I. Ukroshchenie sub"ektivnosti v zadachakh avtomatizatsii i upravleniia tekhnologicheskimi protsessami [Taming subjectivity in automation and process control tasks]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*, 2017, no. 2(6), pp. 79-89.

13. Kharitonov V.A., Krivogina D.N., Safonov N.I. Instrumental'nye sredstva «soedineniia kreativnosti i tekhnologichnosti» v zadachakh vybora ["Combining creativity and manufacturability" tools in tasks of choice]. *Upravlenie bol'shimi sistemami (UBS-2017). Materialy XIV Vserossiiskoi shkoly-konferentsii molodykh uchenykh*, Perm', 04-08 September 2017. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2017, pp. 132-140.

14. Ivanov K.A. Razrabotka struktury ekonomiko-matematicheskoi modeli soglasovaniia interesov v sfere ZhKKh na munitsipal'nom urovne [Economic and mathematical model structure development for municipal level housing sector interests coordination]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2014, no. 4, pp. 445-451.

15. Larin S.N., Malkov U.Kh. Primenenie metodologii kognitivnogo modelirovaniia dlia povysheniia kachestva uslug upravliaiushchikh kompanii v sfere ZhKKh [Methodology of cognitive modeling application for management companies in the housing sector quality of services improve]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2015, no. 22(307), pp. 53-63.

16. Grishkova N.S., Nizhegorodtsev R.M. K voprosu gosudarstvennogo regulirovaniia razvitiia predpriatii zhilishchno-kommunal'nogo khoziaistva [Housing and communal services organizations state regulation development]. *Resursy, informatsiia, snabzhenie, konkurentsii*, 2017, no. 4, pp. 136-139.

17. Pola G., Benedetto M.D.D. Control of Cyber-Physical-Systems with logic specifications: A formal methods approach. *Annual Reviews in Control*, 2019, vol. 47, pp. 178-192.

18. Zhu Y., Urtasun R., Salakhutdinov R., Fidler S. Exploiting Segmentation and Context in Deep Neural Networks for Object Detection. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015, pp. 4703-4711.

19. Ponsich A., Jaimes A.L., Coello C.A.C. A survey on multiobjective evolutionary algorithms for the solution of the portfolio optimization problem and other finance and economics applications. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2013, vol. 17, pp. 321-344.

20. Chen Y., Zhang G. Exchange rates determination based on genetic algorithms using mendel's principles: Investigation and estimation under uncertainty. *Information Fusion*, 2013, vol. 14, pp. 327-333.

Сведения об авторах

Сафонов Никита Игоревич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: safonov@cems.pstu.ru).

Харитонов Валерий Алексеевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой «Строительный инжиниринг и материаловедение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: cems@pstu.ru).

About the authors

Safonov Nikita Igorevich (Perm, Russian Federation) is a Graduate Student Department of Construction Engineering and Materials Science Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: safonov@cems.pstu.ru)

Kharitonov Valerii Alekseyevich (Perm, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Construction Engineering and Materials Science Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: cems@pstu.ru).

Получено 06.04.2020