УДК 51-74

© А. Н. Бирюков, д-р техн. наук, профессор

© Е. О. Добрышкин, адъюнкт

(Военный институт (инженерно-технический)

Военной академии материально-технического

обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева)

E-mail: aleks_bir@mail.ru, edobryshkin@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-76-82

© A. N. Biryukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© E. O. Dobryshkin, adjunct

(Military Institute(engineering) Military Academy

of Logistics named after General of the Army

A. V. Khrulev)

E-mail: aleks_bir@mail.ru, edobryshkin@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТУЛЬНОГО СПИСКА ЗДАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ

MATHEMATICAL MODEL OF THE TITLE LIST OF BUILDINGS AND STRUCTURES FORMATION FOR TOTAL BUILDING RENOVATION IN CONDITIONS OF LIMITED INVESTMENT

Представлена математическая модель, позволяющая осуществить отбор зданий для проведения капитального ремонта по нескольким критериям: индексу рентабельности проектов проведения капитального ремонта, показателю мощности зданий при различных проектах проведения капитального ремонта, необходимым капиталовложениям для реализации различных проектов проведения капитального ремонта. Рассмотрен пример поиска оптимального решения с целью эффективного распределения капитальных вложений на ремонт зданий федерального органа исполнительной власти.

Ключевые слова: федеральный орган исполнительной власти, здания, капитальный ремонт, титульный список, капиталовложения, математическая модель.

The article presents a mathematical model that allows the selection of buildings for total renovation work according to several indexes: the profitability index of major repair projects, the capacity of buildings for various projects of major repair work, necessary investments for various projects implementation of major repair work. There is considered an example of searching for the optimal solution for the effective distribution of investments intended for the repair of the buildings housing the Federal authorities.

Keywords: Federal authorities, buildings, total building renovation, title list, investment, mathematical model.

Одной из основных задач, стоящих перед государством, является создание и поддержание в эксплуатационном состоянии определенной инфраструктуры для функционирования государственного управленческого аппарата. В РФ инфраструктура государственного управленческого аппарата, представляющая собой совокупность зданий различного назначения, является федеральной собственностью¹.

Техническая эксплуатация зданий федеральных органов исполнительной власти, а также поддержание в надлежащем техническом состоянии указанных зданий требуют определенных капиталовложений, выделяемых из федерального бюджета для этих целей. Как правило, здания, предназначенные для обеспечения функционирования федерального органа исполнительной власти, не обладают какой-либо инвестиционной привлекательностью, в том числе для государства, поскольку цель строительства, эксплуа-

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 1.09.2018).

тации и ремонта зданий не заключается в извлечении прибыли. Однако строительство, эксплуатация и ремонт указанных зданий являются необходимым критерием функционирования непосредственно самого государственного аппарата, что доказывает обоснованность планирования и распределения капитальных вложений для этих целей [3, 4].

Одной из стадий осуществления технической эксплуатации является планирование и проведение капитального ремонта с целью частичного снижения уровня физического износа зданий [1, 3, 6]. В настоящее время в РФ проведение капитального ремонта зданий федеральных органов исполнительной власти вне зависимости от стоимости ремонта осуществляется по титульным спискам. Решение задачи по оптимизации бюджетных расходов с целью повышения эффективности распределения капитальных вложений на функционирование инфраструктуры федеральных органов исполнительной власти и, в частности, на проведение капитального ремонта государственных зданий достигается путем использования математических методов принятия решений.

Построение математической модели отбора зданий федеральных органов исполнительной власти для формирования титульного списка проведения капитального ремонта, в первую очередь, следует начать с выделения основных параметров и переменных, а также анализа их взаимосвязи [7].

Под категорией зданий v федерального органа исполнительной власти целесообразно принять совокупность зданий, имеющих сходство по функциональному назначению. Далее будем считать, что множество зданий с повышенным физическим износом каждой отдельно взятой категории v , рассматриваемых на предмет проведения капитального ремонта, состоит из конечного количества i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Предельным объемом капиталовложений, выделяемых на проведение капитального ремонта для каждой v -й категории на планируемый календарный период, будет являться $KB_v^{огр}$. Проведение капитального ремонта зданий осуществляется на основе проектной документации или проектов проведения капитального ремонта [1, 2]. В зависимости от технического

состояния здания и количества выделяемых капиталовложений проведение капитального ремонта возможно как с целым зданием, так и с его обособленной частью — секцией. В таком случае целесообразно принять, что для любого из рассматриваемых зданий существует m проектов проведения капитального ремонта. Если для каждого i -го здания принят j -й проект проведения капитального ремонта, то KB_{ij} будут являться капиталовложениями, необходимыми для реализации проекта, тыс. руб.

Поскольку все здания обладают эксплуатационным показателем мощности Π , выражаемым в m^2 , m^3 и т. д., то примем, что Π_{ij} является эксплуатационным показателем мощности после планируемого ремонта для каждого i -го здания с j -м проектом проведения капитального ремонта. При этом у эксплуатационного показателя мощности после планируемого ремонта Π_{ij} i -го здания допускается вариация значений в зависимости от планируемого проведения капитального ремонта всего здания или его отдельной части, а значит, и в зависимости от проекта проведения капитального ремонта j .

Так как здания федеральных органов исполнительной власти предназначены для обеспечения функционирования государственного управленческого аппарата (размещение людей, оборудования, техники), существует потребность федерального органа исполнительной власти в определенной мощности зданий. Тогда примем, что общая потребность для федерального органа исполнительной власти в эксплуатационном показателе мощности после планируемого ремонта v -й категории зданий будет равна $\Pi_v^{потр}$.

Одним из критериев эффективности планирования проведения капитального ремонта отдельно взятого здания является индекс рентабельности PI проекта проведения капитального ремонта, представляющий собой отношение суммарного значения прогнозируемых доходов после проведения капитального ремонта здания к значению единовременных затрат на проведение капитального ремонта.

Индекс рентабельности проектов проведения капитального ремонта зданий определяется по формуле

$$PI = \frac{\left(\sum_{t=1}^T \frac{FV_t}{(1+r)^t} \right)}{IC}, \quad (1)$$

где T — горизонт расчета: месяц, квартал или год; t — порядковый номер расчета: 1, 2, 3, ..., T (последний номер шага равен горизонту расчета — месяц, квартал или год); FV_t — сумма приведенного чистого денежного дохода, достигаемая на t -м шаге расчета; r — ставка дисконтирования; IC — величина единовременных затрат на проведение капитального ремонта отдельно взятого здания с определенным проектом.

Известно, что увеличение единовременных затрат на проведение капитального ремонта влечет снижение текущих затрат с целью поддержания эксплуатационной пригодности здания [3, 4]. При планировании проведения капитального ремонта зданий, капиталовложения для которых выделяются государством из бюджета, целесообразно в качестве дохода FV_t принять экономию капиталовложений, выделяемых на эксплуатационные расходы и текущий ремонт здания, за счет единовременных затрат на проведение капитального ремонта здания. Таким образом, будем считать, что PI_{ij} является индексом рентабельности для j -го проекта проведения капитального ремонта i -го здания.

В целях принятия решения в отношении каждого i -го здания с j -м проектом проведения капитального ремонта введем переменные x_{ij} :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если для здания } i \text{ принят } j\text{-й проект;} \\ 0, & \text{если для здания } i \text{ проект не принят.} \end{cases}$$

Тогда целевая функция формирования титульного списка зданий для проведения капитального ремонта федерального органа исполнительной власти в условиях ограниченности капиталовложений будет заключаться в отборе зданий для проведения капитального ремонта с максимальным значением индекса рентабельности проектов проведения капитального ремонта PI_{ij} :

$$f(PI, x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m PI_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (2)$$

со следующими ограничениями:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} x_{ij} \geq P^{\text{потр}}; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m KB_{ij} x_{ij} \leq KB^{\text{огр}}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, j = 1, \dots, m; \quad (5)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}; \quad (6)$$

$$x_{ij} — \text{целые.} \quad (7)$$

Ограничения (3) и (4) означают, что отобранные здания должны по сумме эксплуатационных показателей мощности удовлетворять потребность федерального органа исполнительной власти с учетом лимитированного значения капитальных вложений на проведение капитального ремонта.

Ограничения (5) и (6) означают, что для каждого объекта военной инфраструктуры должен быть выбран только один вариант проекта его капитального ремонта, т. е. одна из переменных $x_{ij}, j = 1, \dots, m$ равна единице, остальные — нулю.

По своей сути целевая функция (2) является задачей принятия оптимального решения по отбору зданий в условиях множества ограничений (3)–(7). Названный процесс характеризуется достаточно высокой сложностью при простом переборе вариантов решения.

Поэтому решение целевой функции (2) с учетом ограничений (3)–(7) целесообразно осуществлять с применением методов линейного программирования с целочисленными булевыми переменными [8], поскольку:

- целевая функция и ограничения линейны и являются функциями первой степени;
- переменные являются целыми числами, так что $x_{ij} \in Z$;
- на переменные наложено ограничение, по которым они могут принимать значения 0 или 1.

Одним из методов решения задач линейного программирования является метод ветвей и границ, поиск решения которым требует введения ряда определений [8]. Целевая функция (2) является функцией максимизации, поскольку она математически задает стремление к отбору зданий с максимальными значениями индекса рентабельности PI i -го здания с j -м проектом проведения капитального ремонта. Верхней границей функции $f(PI_{ij}, x_{ij})$ (2) на множестве G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} называется такое число $\xi(G)$, что $\xi(G) \geq f(PV_{ij}, x_{ij})$ для всех $PI_{ij} x_{ij} \in G$. Разбиением множества G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} называется семейство непересекающихся подмножеств G в совокупности покрывающих все G . Более формально это значит, что семейство множеств

$\{G_i\} i=1, \dots, n$ образует разбиение множества G , если:

- 1) $G_i \in G, i=1, \dots, n$;
- 2) $G_i \cap G_j = \emptyset$ при $i \neq j$;
- 3) $U_{i=1}^n G_i = G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_n = G$.

Таким образом, метод ветвей и границ в общем виде реализуется посредством последовательного разбиения множества G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} на семейство подмножеств $\{G_i\}$ (ветвлением) и вычислением верхних границ $\xi(G_i)$ функции $f(PI_{ij}, x_{ij})$ на этих подмножествах. На каждом шаге алгоритма ветвлению подвергается одно из подмножеств G_k построенного ранее разбиения $\{G_i\} i=1, \dots, n$ так, что $G_k = G_{k1} \cup \dots \cup G_{kl}$. Таким образом, подмножества G_i при $i \neq k$ вместе с подмножествами $G_{11}, \dots, G_{kl}$ образуют новое (более дробное) разбиение множества G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} .

Целесообразно ввести в употребление слово «ветвь». Под *ветвью* будем понимать список, в который на каждом шаге заносятся все подмножества G_p , образующие в совокупности разбиение G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} вместе с верхними границами $\xi(G_i)$ целевой функции $f(PI_{ij}, x_{ij})$ на этих подмножествах. Использование верхних границ $\xi(G_i)$ целевой функции $f(PI_{ij}, x_{ij})$ зачастую позволяет сузить область поиска максимального значения суммы индексов рентабельности PI_{ij} -х проектов проведения капитального ремонта y -х зданий согласно постановке задачи отбора. Основой сужения будет являться следующее свойство, или признак оптимальности.

Пусть построено разбиение $G = \sum_{i=1}^n G_i$, вычислены нижние границы $\xi(G_i)$ целевой функции $f(PI_{ij}, x_{ij})$ и

$$\xi(G_k) = \max_{i=1, \dots, n} \xi(G_i). \quad (8)$$

Если найден план $x^* \in G_k$ такой, что $f(x^*) = \xi(G_k)$, то x^* — оптимальный план выбора зданий для включения в титульный список проведения капитального ремонта. Действительно, из определения верхней границы целевой функции (2) и ограничения (7) следует, что

$$f(x^*) = \xi(G_k) = \xi(G_k) \geq \xi(G_i) \geq f(x) \quad (9)$$

для всех $x \in G_i$ при $i=1, \dots, n$, а так как множества G_i покрывают в совокупности все G , то неравен-

ства (9) означают, что x^* — оптимальный план. Таким образом, подмножество G_i вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} с максимальной верхней границей $\xi(G_i)$ является наиболее перспективным и должно быть подвергнуто более детальному исследованию.

Именно такое подмножество вариантов индекса рентабельности PI_{ij} и выбирается для дальнейшего ветвления. В целях поиска решения определим правила ветвления, вычисления границ и нахождения планов в подмножествах разбиения применительно к решению задачи по отбору зданий для формирования титульного списка проведения капитального ремонта.

Ветвление будем осуществлять путем фиксации возможных значений одной из переменных, т. е. если в задаче (2)–(7) фиксировать значение $x_{11} = 1$, то в соответствии с (5) все остальные переменные x_{ij} из первой строки матрицы переменных автоматически приравниваются к нулю. Исходя из вышесказанного, в качестве шага ветвления множества G вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} будем рассматривать выбор в каждой последующей строке переменной x_{ij} , которой присваивается значение 1 (тогда $x_{ij} = 0$ при $i \neq j$).

Таким образом, шаг ветвления будет состоять в выборе проекта проведения капитального ремонта для очередного здания.

Набор зафиксированных переменных $\{x_{11}, \dots, x_{1n}, x_{21}, \dots, x_{2n}, \dots, x_{k1}, \dots, x_{kn}\}$ или иными словами — набор проектов проведения капитального ремонта для зданий $i = 1, \dots, k$ будет называться частичным планом задачи. Соответствующее этому набору подмножество разбиения $G_i^{(k)}$ будет состоять из всех продолжений частичного плана путем выбора проектов проведения капитального ремонта для оставшихся зданий $i = k+1, \dots, n$. Верхней границей целевой функции (2) на таком подмножестве может служить величина

$$\xi(G_i^{(k)}) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n PI_{ij} x_{ij} + \sum_{i=k+1}^n \max_j PI_{ij}. \quad (10)$$

Первая сумма состоит из слагаемых в выражении (2) для целевой функции, которые уже отвечают зафиксированным значениям переменных, т. е. значениям проектов проведения капитального ремонта, выбранным для зданий $i = 1, \dots, k$. Вторая сумма дает максимальное приращение

критерия при выборе проектов для остальных зданий $i = k+1, \dots, n$ (даже если этот выбор будет сделан без учета ограничений (2) и (3)).

Особенность применения метода ветвей и границ при решении задач линейного программирования состоит в различных подходах к поиску оптимального решения в зависимости от значений заданных переменных, указанных в рамках поставленной задачи по отбору в целевой функции (2) и ее ограничениях (2)–(6).

Будем считать, что решение задачи достигнуто, если суммарное значение индекса рентабельности PI_{ij} у отобранных i -х зданий с j -м проектом проведения капитального ремонта максимально с учетом ограничений по показателям мощности и капиталовложениям, выделенным для капитального ремонта зданий.

Решение задачи по отбору зданий целесообразно проиллюстрировать следующим вычислением. Пусть для каждого из четырех зданий федерального органа государственной власти ($i = 1, \dots, 4$) разработано два различных проекта проведения капитального ремонта ($j = 1, 2$). Значения переменных PI_{ij} , $\Pi_{ij}^{\text{потр}}$, $KB_{ij}^{\text{огр}}$, а также ограничения по показателю мощности $\Pi^{\text{потр}}$ и капиталовложениям $KB^{\text{огр}}$ для наглядности без взаимосвязи заданы целыми натуральными числами и равны:

$$\|PI_{ij}\| = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 8 & 14 \\ 10 & 12 \\ 13 & 7 \end{pmatrix};$$

$$\|\Pi_{ij}\| = \begin{pmatrix} 10 & 7 \\ 14 & 11 \\ 13 & 8 \\ 7 & 7 \end{pmatrix};$$

$$\|KB_{ij}\| = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 5 \\ 6 & 9 \\ 7 & 8 \end{pmatrix};$$

$$\Pi^{\text{потр}} = 38; KB^{\text{огр}} = 25.$$

Шаг 1. Граница $\xi(G)$, вычисляемая по формуле (10), равна сумме максимальных элементов строк матрицы $\|PI_{ij}\|$: $\xi(G) = 5 + 14 + 12 + 13 = 44$. На этом шаге G — единственное множество вариантов значений индекса рентабельности PI_{ij} в

списке «Ветвь», оно и подвергается ветвлению $G = G_1 \cup G_2$.

Здесь G_1 представляет собой подмножество планов, в которых для первого здания принят первый проект проведения капитального ремонта $x_{11} = 1$ (и значит, $x_{12} = 0$), G_2 — подмножество планов, в которых для первого здания принят второй проект проведения капитального ремонта $x_{12} = 1$ (и значит, $x_{11} = 0$). Границы множеств G_1 и G_2 равны:

$$\begin{aligned} \xi(G_1) &= PI_{11} + \sum_{i=2}^4 \max_j PI_{ij} = \\ &= 1 + 14 + 12 + 13 = 40; \\ \xi(G_2) &= PI_{12} + \sum_{i=2}^4 \max_j PI_{ij} = \\ &= 5 + 14 + 12 + 13 = 44. \end{aligned}$$

В результате этого шага список «Ветвь» имеет вид:

$$\{(G_1, \xi = 40); (G_2, \xi = 44)\}.$$

Шаг 2. Из списка «Ветвь» выбираем G_2 , производим ветвление $G_2 = G_{21} \cup G_{22}$ путем выбора проекта для здания 2. Подмножество G_{21} соответствует выбору первого проекта проведения капитального ремонта ($x_{21} = 1$), подмножество G_{22} — второго ($x_{22} = 0$).

Границы множеств G_{21} и G_{22} равны:

$$\begin{aligned} \xi(G_{21}) &= PI_{12} + PI_{21} + \sum_{i=3}^4 \max_j PI_{ij} = \\ &= 5 + 8 + 12 + 13 = 38; \\ \xi(G_{22}) &= PI_{12} + PI_{22} + \sum_{i=3}^4 \max_j PI_{ij} = \\ &= 5 + 14 + 12 + 13 = 44. \end{aligned}$$

В результате шага 2 список «Ветвь» имеет вид:

$$\{(G_1, \xi = 40); (G_{21}, \xi = 38); (G_{22}, \xi = 44)\}.$$

Шаг 3. Из списка «Ветвь» выбираем G_{22} . Ветвление $G_{22} = G_{221} \cup G_{222}$, где подмножеству G_{221} соответствует выбор проекта капитального ремонта № 1 ($x_{31} = 1$), а подмножеству G_{222} — проект капитального ремонта № 2 ($x_{32} = 1$). Однако множество G_{222} оказывается пустым, т. е. не содержит ни одного допустимого плана. Действительно, первые три здания при выбранных проектах проведения капитального ремонта (№ 2 — для всех трех зданий) обеспечивают потребность только $\Pi_{12} + \Pi_{22} + \Pi_{32} = 7 + 11 + 8 = 26$ единиц показателя мощности. Четвертое здание в любом варианте допускает приращение не более 7 единиц показателя мощности, поэтому суммарное

значение показателя мощности не превышает 33 единиц, что нарушает ограничение показателя мощности, так как $\Pi^{\text{потр}} = 38$. Важно иметь в виду, что аналогичная проверка как по приращению единиц показателя мощности, так и по объему капиталовложений должна проводиться при каждом ветвлении. Множество G_{222} далее не рассматривается

$$G_{221} = \Pi_{12} + \Pi_{22} + \Pi_{31} + \max_{j=1,2} \Pi_{4j} = 5 + 14 + 10 + 13 = 39.$$

Список «Ветвь»:

$$\{(G_1, \xi = 40); (G_{21}, \xi = 38); (G_{221}, \xi = 42)\}.$$

Шаг 4. Из списка «Ветвь» выбираем G_{221} , производим ветвление $G_{221} = G_{2211} \cup G_{2212}$, в G_{2211} $x_{41} = 1$, в G_{2212} $x_{42} = 1$. Все переменные фиксированы, и значит, G_{2211} и G_{2212} содержат не более одного плана. Однако план множества G_{2212} недопустим, поскольку он обеспечивает потребность лишь $7 + 11 + 8 + 7 = 33$ единиц показателя мощности, $G_{2212} = \emptyset$.

$$\xi(G_{2211}) = \Pi_{12} + \Pi_{22} + \Pi_{31} + \Pi_{41} = 5 + 14 + 10 + 13 = 42.$$

Список «Ветвь»:

$$\{(G_1, \xi = 40); (G_{21}, \xi = 38); (G_{2211}, \xi = 42)\}.$$

Шаг 5. Из списка «Ветвь» выбираем G_{2211} . Это множество состоит из единственного плана $x^* = x_{12} = x_{22} = x_{31} = x_{41} = 1$, остальные $x_{ij} = 0$, причем $f(x^*) = \Pi_{12} + \Pi_{22} + \Pi_{31} + \Pi_{41} = 42$. В то же время $\Pi_{12} + \Pi_{22} + \Pi_{31} + \Pi_{41} = 38$ (т. е. суммарное значение требуемого показателя мощности удовлетворяет ограничению $\Pi^{\text{потр}}$) $\text{KB}_{12} + \text{KB}_{22} + \text{KB}_{31} + \text{KB}_{41} = 20$ (т. е. значение суммарных затрат на капитальный ремонт соответствует ограничению $\text{KB}^{\text{огр}}$).

Результат решения по отбору зданий федерального органа исполнительной власти для формирования титульного списка проведения капитального ремонта с максимально возможным суммарным значением индекса рентабельности Π_{ij} у отобранных i -х зданий с j -м проектом проведения капитального ремонта при наличии ограничений по показателям мощности и капиталовложениям в рамках проведенного вычисления состоит в том, что для первых двух зданий целесообразно принять второй проект проведения капитального ремонта, а для третьего и четвертого объектов — первый проект. Тогда максимально возможный суммарный показатель

индекса рентабельности Π для всех четырех зданий будет равен 42 при одновременном удовлетворении ограничений по требуемому показателю мощности ($\Pi^{\text{общ}} = 38 \geq \Pi^{\text{потр}} = 38$) и расходу капиталовложений ($\text{KB}^{\text{общ}} = 20 \leq \text{KB}^{\text{огр}} = 25$).

Таким образом, применение математической модели позволяет оптимизировать распределение бюджетных средств и планирование проведения капитального ремонта зданий, являющихся федеральной собственностью.

Библиографический список

1. Farahani A., Wallbaum H., Dalenbäck J. Optimized maintenance and renovation scheduling in multifamily buildings – a systematic approach based on condition state and life cycle cost of building components // Construction Management and Economics. 2018. November 10th.
2. Ustinovichius L. Determination of efficiency of investments in construction // International Journal of Strategic Property Management. 2004. Vol. 8, No 1. Pp. 25–43.
3. Андреев Л. С., Архипов В. Л., Бирюков А. Н., Бирюков Ю. А., Буланов А. И., Иванов Д. В., Куликов Д. Н. Экономика строительства / под общ. ред. А. И. Буланова. СПб.: ВИ (ИТ) ВА МТО, 2016. 370 с.
4. Бирюков А. Н., Денисов В. Н., Бирюков Ю. А. Снос зданий и сооружений в современных условиях. СПб.: ВИ (ИТ) ВА МТО, 2014. 256 с.
5. Бирюков А. Н., Буланов А. И., Ивановский В. С., Рихель С. Г., Куделко М. Н., Лапшин О. Е. Основы организации, экономики и управления в строительстве / под ред. Г. М. Ногинского. М.: Федеральное агентство специального строительства, 2014. 432 с.
6. Бирюков А. Н., Маругин В. М., Лазарев А. Н., Мороз А. М., Чмырёв В. А. Экспертные формы контроля (на примерах оценки строительных объектов и самооценки строительных предприятий). СПб.: Политехника, 2012. 213 с.
7. Орлова И. В., Половников В. А. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Вузковский учебник; ИНФРА-М, 2012. 389 с.
8. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Статистика, 1972. 359 с.

References

1. Farahani A., Wallbaum H., Dalenbäck J. Optimized maintenance and renovation scheduling in multifamily buildings – a systematic approach based on condition state

and life cycle cost of building componentsю *Construction Management and Economics*, 2018, November 10th.

2. Ustinovichius L. Determination of efficiency of investments in construction. *International Journal of Strategic Property Management*, 2004, vol. 8, no. 1, pp. 25–43.

3. Andreev L. S., et al. *Ehkonomika stroitel'stva* [Construction economics]. Ed. by Bulanov A. I. St. Petersburg, VI (IT) VA MTO Publ., 2016, 370 p.

4. Biryukov A. N., Denisov V. N., Biryukov Yu. A. *Snos zdaniy i sooruzheniy v sovremennykh usloviyakh* [Demolition of buildings and structures in modern conditions]. St. Petersburg, VI (IT) VA MTO Publ., 2014, 256 p.

5. Biryukov A. N., et al. *Osnovy organizatsii, ehkonomiki i upravleniya v stroitel'stve* [Fundamentals of organization, economics and management in construction]. Ed.

by Noginskiy G. M. Moscow, Federal'noe agentstvo spetsial'nogo stroitel'stva Publ., 2014, 432 p.

6. Biryukov A. N., et al. *Ehkspertnye formy kontrolya (na primerakh otsenki stroitel'nykh ob'ektov i samootsenki stroitel'nykh predpriyatiy)* [Expert forms of control (based on estimates of construction projects and self-construction enterprises)]. St. Petersburg, Politehnika Publ., 2012, 213 p.

7. Orlova I. V., Polovnikov V. A. *Ehkonomiko-matematicheskie metody i modeli: komp'yuternoe modelirovanie* [Economic and mathematical methods and models: computer modeling] .3-rd ed., revised. Moscow, INFRA-M Publ., 2012, 389 p.

8. Terekhov L. L. *Ehkonomiko-matematicheskie metody* [Economic and mathematical methods]. 2-nd ed., revised. Moscow, Statistika Publ., 1972, 359 p.