

УДК 69.059

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПРОЛОНГАЦИИ СРОКА СЛУЖБЫ ТЕПЛО- ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Король Олег Андреевич**

Доцент, к.т.н. кафедры Жилищно-коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);  
e-mail: [koroloa@mgsu.ru](mailto:koroloa@mgsu.ru)

**Дехтярь Екатерина Владиславовна**

Аспирант кафедры Жилищно-коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);  
e-mail: [dekhtyarev@mgsu.ru](mailto:dekhtyarev@mgsu.ru)

**Петров Александр Алексеевич**

Аспирант кафедры Жилищно-коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);  
e-mail: alex08\_96@mail.ru

**Аннотация.** Проведение капитального ремонта зданий предусматривает повышение их теплозащиты за счет применения эффективных теплоизоляционных материалов в конструктивно-технологических решениях ограждающих конструкций. Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки инструментария выбора оптимальных параметров теплоизоляционных материалов в привязке к межремонтным срокам эксплуатации зданий, а также определения прогнозной потребности их применения в ремонтно-строительном производстве.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, ремонтно-строительное производство, пролонгация межремонтных сроков, характер дефектов и повреждений, долговечность, надежность, математическая модель, взаимозаменяемость теплоизоляционных материалов, железобетонные покрытия под рулонную кровлю, кровли из асбестоцементных листов

## IMPROVING THE CALENDAR PLANNING OF CAPITAL REPAIRS OF BUILDINGS, TAKING INTO ACCOUNT THE FORECAST OF CONSUMPTION AND PROLONGATION OF THE SERVICE LIFE OF THERMAL INSULATION MATERIALS

**Korol Oleg Andreevich**

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow);  
e-mail: [koroloa@mgsu.ru](mailto:koroloa@mgsu.ru)

**Dekhtyar Ekaterina Vladislavovna**

Postgraduate student of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow);

e-mail: [dekhtyarev@mgsu.ru](mailto:dekhtyarev@mgsu.ru)

**Petrov Alexander Sergeevich**

Postgraduate student of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow);

e-mail: [alex08\\_96@mail.ru](mailto:alex08_96@mail.ru)

**Abstract:** The overhaul of buildings provides for an increase in their thermal protection through the use of effective thermal insulation materials in structural and technological solutions of enclosing structures. This circumstance necessitates the development of tools for selecting optimal parameters of thermal insulation materials in relation to the inter-repair service life of buildings, as well as determining the projected need for their use in repair and construction production.

**Key words:** thermal insulation materials, repair and construction production, prolongation of repair periods, the nature of defects and damages, durability, reliability, mathematical model, interchangeability of thermal insulation materials, iron-concrete coatings for rolled roofing, roofs made of asbestos cement sheets

## **ВВЕДЕНИЕ**

Порядок проведение работ по капитальному ремонту обосновывается, в первую очередь, требованиями нормативных документов [1]. В ряде исследований предлагается расширить эти требования, как в самих действующих документах, так при разработке качественно новых, учитывающих современный уровень соответствия повышенным характеристикам к комфортным условиям среды жизнедеятельности [2].

Характер дефектов и повреждений отдельных конструктивных элементов зданий [3] определяет выбор решений о технологиях их дальнейшего устранения. Для отдельных конструктивных элементов проведенные обследования свидетельствуют о необходимости обеспечения конструктивной безопасности в результате ремонтно-восстановительных работ. Для ограждающих конструкций при проведении капитального ремонта важно использовать теплоизоляционные материалы, обеспечивающие не только требования теплозащиты, но и пролонгированный срок службы, с учетом того, в системе с конструкционными материалами их долговечность оказывается, как правило, сравнительно меньше.

Разнообразие теплоизоляционных материалов и соответственно их характеристик определяет необходимость поиска оптимальных вариантов и

прогнозных объемов производства утеплителей для обеспечения программных требований по термомодернизации зданий. Поставленная задача может быть решена методами математического моделирования.

При решении задачи оптимизации потребления теплоизоляционных материалов традиционными методами представляется возможность рассмотреть незначительное число вариантов и учесть некоторые физико-механические свойства. Используя математическое моделирование позволяет выявить единственное оптимальное решение при заданных условиях с целью пролонгации межремонтных сроков.

При реализуемых объемах ремонтно-строительных работ в рамках проведения капитальных ремонтов большое внимание уделяется теплоизоляционным материалам.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

При построении математической модели учтены следующие особенности применения теплоизоляционных материалов:

1. Взаимозаменяемость теплоизоляционных материалов при их применении.
2. Влияние технических и технологических характеристик (надежность, обработанность технологии, долговечность и т.д.) на пролонгацию межремонтного срока.
3. Ограниченность области применения ряда теплоизоляционных материалов.
4. Наличие новых материалов, по которым отсутствует в полном объеме информация.

С целью формализации качественных факторов все теплоизоляционные материалы по степени надежности, долговечности и т.д. были объединены в 4 группы и условно названы:

- **А** (минимальный срок эксплуатации от 20 лет);
- **Б** (минимальный срок эксплуатации от 25 лет);
- **В** (минимальный срок эксплуатации от 35 лет);

- Г (минимальный срок эксплуатации от 75 лет).

В модели приняты следующие обозначения:

$i$ - виды утепляемых конструкции;

$j$ - виды теплоизоляционных материалов;

$t$ - утеплители группы А;

$s$ - утеплители группы Б;

$k$ - утеплители группы В;

$r$ - утеплители группы Г;

$x_{ij}$ - объем ограждающих конструкций  $i$ -го вида, утепляемый материалом  $j$ -вида;

$a_{ij}$ - толщина покрытия  $i$ -го вида конструкции,  $j$ -м теплоизоляционным материалом;

$b_j$ - объем использования изоляционного материала  $j$ -ого вида;

$x_k$ - объем потребления материалов  $k$ -го вида;

$x_r$ - объем потребления материалов  $r$ -го вида;

$f_{ij}$ - трудоемкость  $j$ -го вида при утеплении ими единицы конструкции  $i$ -го вида.

Введем ряд ограничений на предлагаемую модель:

- Распределение планируемого объема ограждающих конструкций каждого вида по видам теплоизоляционных материалов;
- Объем потребления группы «Б» теплоизоляционных материалов не должен уменьшаться;
- Объем потребления группы «В» теплоизоляционных материалов должен быть не меньше объема группы «Б»;
- Объем потребления теплоизоляционных материалов группы «А» не должен увеличиваться;
- Применение материалов из группы «Г» обуславливается критерием оптимальности и ограничениями со стороны технологического аспекта;

- Фактор не отрицательности всех переменных, используемых при расчете.

Рассматриваемая модель является статической, так как фактор времени учитывается автономно. Кроме того, данная модель является одноэтапной, поскольку расчет производится по линии готовой продукции, не учитывая линию сырья.

В формализованном виде задача с введенными ограничениями записывается следующим образом:

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

$$\sum_{i=1}^m a_{it} x_{it} \geq b_t; t=1, \dots, T; \quad (2)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^m a_{ir} x_{ir} - x_r \leq b_k; k=1, \dots, P; k \in t; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{is} x_{is} \leq b_s; s=1, \dots, Z; s \in j; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ir} x_{ir} - x_r = 0; r=1, \dots, R; r \in j; \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0; x_r \geq 0; k \in t; r \in j; \quad (6)$$

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (7)$$

Предложенная модель предопределяет и объем исходной эмпирической информации, необходимой для ее параметризации: расчетная толщина утеплителя, перспективный объем утепляемых ограждающих конструкций, объем и структура потребления теплоизоляционных материалов в единицу времени.

В качестве примера объемы утепляемых ограждающих конструкции были взяты из мониторинга реализации региональных программ капитального ремонта по Московской области за 2022г. [4] и представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Объемы утепляемых ограждающих конструкции

Виды конструкции	Количество
Железобетонные покрытия под рулонную кровлю	26 552
Покрытия из стального профилированного настила	12 487
Фасады	44 062

Приведем примерный перечень объемов теплоизоляционных материалов, используемых при капитальном ремонте в рассматриваемом периоде в табл. 2.

Таблица 2.

Перечень объемов теплоизоляционных материалов

<b>Минераловатные плиты (на синтетическом связующем)</b>	тыс. м <sup>2</sup>
<i>Полужесткие</i>	1 808
<i>Мягкие</i>	886
<b>Минераловатные плиты на битумном связующем</b>	
<i>Жесткие</i>	480
<i>Полужесткие</i>	504
<i>Мягкие</i>	2 760
Стекловолоконистые плиты и маты	1 647
Полистирольный пенопласт	544
Плиты из цементного фибролита	1 425
Изделия на основе перлита	205
Древесноволокнистые плиты	1 056
Теплоизоляционные посыпки	3 630

Решение задачи выполняется путем мультипликативного симплекс метода линейного программирования. Программа предусматривает выдачу всех переменных, общего и частного экстремумов, значений правых и левых частей ограничений.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Анализ полученной информации показал, что наиболее рациональными объемами утепления железобетонных покрытий под рулонную кровлю являются: заливочные и самовспенивающиеся композиции (13 300 у.е.), плиты повышенной жесткости (23 500 у.е.), полистирольный пенопласт (14 460 у.е.) и перлитофосфатные изделия (12 500 у.е.). (рис.1.)



Рис. 1. Железобетонные покрытия под рулонную кровлю

Профилированный настил целесообразно утеплять в полном объеме (12 487 у.е.).

Фасады, кровли из алюминиевых листов, асбестоцементные панели [6,7] рационально утеплять полужесткими и мягкими минераловатными плитами на синтетическом связующем (13 477 у.е.) и заливочными и самовспенивающимися композициями (12 500 у.е.).

Полученный план потребления теплоизоляционных материалов удовлетворяет всем введенным ограничениям организационно-технологической модели.

При наличии исходной информации предложенная модель может дополняться другими ограничениями и, в частности, ограничениями по сырьевым ресурсам:

$$\sum_{c=1}^z \alpha_{ci} (\sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij}) \leq L_c, j=1, \dots, n, \quad (8)$$

где  $\alpha_{ci}$  – норма расхода сырья вида  $C$  на единицу –  $i$ -го вида теплоизоляционных материалов;

$L_c$  – объем производства (добычи) сырья  $C$ -го вида.

При введении вышеизложенного ограничения модель примет более адекватный вид и полученный объем потребления будет обоснованный. Од-

нако в условиях неполной информации и наличия большого числа необходимых факторов модель нужно использовать в различных модификациях, с учетом конкретных условий.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Реализация программных мероприятий, связанных с повышением теплозащиты эксплуатируемых зданий, формирует требования к выбору рациональных утеплителей с соответствующим сроком службы и обеспечению требуемых объемов их производства. Одной из приоритетных задач является пролонгация межремонтных сроков.

Решаемая задача является многофакторной. Если из-за неполного учета качественных факторов практическая реализация оптимального плана окажется затруднительной, целесообразно выдать все допустимые варианты структуры потребления, исследовать их и выбрать наиболее реальный и вместе с тем наиболее близкий к оптимальному.

В связи с тем, что многие теплоизоляционные материалы применяются не во всех видах ограждающих конструкций, область допустимых решений задачи весьма узка. Поэтому число допустимых вариантов потребления существенно ограничено. А это облегчает их технологический анализ и выбор наиболее приемлемого варианта с учетом влияния факторов.

### **Литература**

1. "СП 255.1325800.2016. Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения" (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.08.2016 N 590/пр) (ред. от 02.12.2019)
2. Теоретические аспекты формирования нормативно-методической базы капитального ремонта общего имущества многоквартирных домов [Текст] / К.К. Шрейбер, Е.А. Король // Вестник МГСУ (2019). Том 14. Выпуск 11 (134). – с. 1473-1481. ISSN: 1997-0935eISSN: 2304-6600
3. Дефекты и повреждения грунтовых оснований промышленных зданий [Текст] / Т.А. Крахмальный, С.И. Евтушенко // Строительство и архитектура (2019). Том 7. Выпуск 3 (24) 2019. – С.45-49. DOI: 10.29039/2308-0191-2019-7-3-45-49
4. Электронный ресурс: [<https://www.reformagkh.ru/overhaul/overhaul/>]. Дата обращения 28.11.2022
5. Дефекты и повреждения металлических колонн производственных зданий [Текст] / Т.А. Крахмальный, С.И. Евтушенко // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 2 (31) 2021. – С.11-15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-2-11-15
6. Систематизация дефектов фасадов промышленных зданий [Текст] / С.И. Евтушенко, Т.А. Крахмальный, М.П. Крахмальная, В.Е. Шапка, А.Б. Александров //

Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XVI международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 15 ноября 2016 г. / Южно-Российский государственный технический университет (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ (НПИ), 2016. — С. 132–136.

7. Typical defects and damage to the industrial buildings' facades / T A Krahmalny and S I Evtushenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 775 (2020) 012135, doi:10.1088/1757-899X/775/1/012135.