

Моделирование выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли

С.Г. Шеина¹, Н.В. Цона²

¹Донской государственной технической университет

²Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь

Аннотация: Важным условием качественного развития строительной отрасли является дальнейшее повышение энергоэффективности и экологичности проектных решений в сфере ограждающих конструкций кровли. Поэтому решение задачи правильного выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли для увеличения жизненного цикла всего здания становится более актуальным. Распространение в современной строительной практике использования большого многообразия как традиционных, так и более долговечных и надежных кровельных покрытий затрудняет процесс выбора наиболее эффективного варианта. В статье получила развитие методика выбора эффективного варианта устройства кровли на основе применения экономико-математического инструментария, опираясь на анализ организационно-технологических расчетов и технико-экономического сравнения различных вариантов.

Ключевые слова: аддитивный критерий оптимальности, кровля, кровельное покрытие, эксплуатация, методика, организационно-технологические расчеты, рациональная технология, черепица, эксплуатационные затраты, эффективность, экономико-математическое моделирование.

Одной из основных частей любого здания является кровля, которая играет значительную роль в обеспечении достижения энергетической эффективности здания, защите конструкций и внутренних помещений от воздействия неблагоприятных атмосферных явлений. Следует отметить, что кровля в наибольшей степени подвержена влиянию внешних факторов, именно поэтому достаточно остро стоит вопрос о правильном выборе наиболее эффективного варианта устройства кровли для увеличения жизненного цикла всего здания. Проведенный анализ установил, что существующие в городах кровли не отличаются высокой долговечностью и ввиду несоответствия современным требованиям надежности и теплоэффективности многие из них требуют капитального ремонта [1].

Многие исследователи отмечают, что проектные решения в сфере ограждающих конструкций кровли должны быть направлены на решение

проблемы повышения энергоэффективности и экологичности. При этом они должны также удовлетворять требованиям увеличения сроков эксплуатации зданий [2-3].

В современной практике используются как традиционные кровельные покрытия, так и более долговечные и надежные, дающие возможность создания дополнительных эксплуатируемых пространств на поверхности крыши, например инверсионные кровли [4].

Выбору наиболее эффективного варианта устройства кровли необходимо уделять первоочередное внимание, обусловлено это тем, что «основная часть кровельных работ относится к скрытым работам, а неудовлетворительное качество кровельного покрытия в процессе нового строительства, реконструкции или капитального ремонта может проявиться только в процессе эксплуатации» [5]. Выполняя работы по устройству кровли, целесообразно применять технологии и материалы, позволяющие снизить эксплуатационные затраты на содержание объекта [6]. Снижение эксплуатационных затрат на содержание зданий на предпроектной стадии влияет, в конечном итоге, на дальнейшую эффективность организационных и технологических решений [7]. Именно поэтому изучение вопросов, связанных с совершенствованием устройства различных кровельных систем для объектов нового строительства, а также объектов, подлежащих текущему, капитальному ремонту и реконструкции, с учетом эффективного варианта их устройства является своевременным и актуальным.

Проведением исследований в сфере оценки эффективности кровельных работ занимаются отечественные и зарубежные ученые, среди которых: А.Н. Егоров [4], Л.А. Сулейманова [5], С. Рахман [6]. Большой вклад в исследование различных вопросов оценки эффективности устройства кровли внесли В.Т. Шаленный [8], В.В. Полозюк [10] и другие авторы [9].

Целью настоящего исследования является развитие методики выбора целесообразного варианта устройства кровли на основе применения экономико-математического моделирования, опираясь на проведенный анализ и результаты расчета технико-экономических показателей.

В рамках поставленной цели в данной статье решены следующие задачи:

- сделан анализ опыта применения кровельных покрытий из различных видов кровельных систем;

- выполнено моделирование технико-экономических показателей на конкретном объекте-представителе, с учетом одинакового варианта утепления кровли;

- разработана методика выбора целесообразного варианта устройства кровли на основе экономико-математического моделирования, которая апробирована на примере конкретного объекта.

Анализ существующего отечественного и зарубежного опыта применения кровельных покрытий из различных видов кровельных систем свидетельствует о том, что для устройства кровель применяют следующие кровельные материалы: рулонные основные, рулонные безосновные, штучные листовые, мелкоштучные. В зависимости от вида, кровли принимают требуемые уклоны для различных видов [11].

Следует также отметить, что по различным классификационным признакам кровельные материалы делятся по пяти классификационным признакам на такие как: основные и безосновные (по структуре полотна); на основе кровельного картона, на стеклооснове, на полиэфирной основе, на основе фольги, на комбинированной основе, на основе асбестовой бумаги (по виду основы); битумные, дегтевые, битумно-полимерные, полимерные (по виду вяжущего); с посыпкой, с фольгой, с полимерной пленкой, с озоностойким, кислотным и щелочным покрытием (по виду защитного слоя);

обычной или цветной, пылевидной, чешуйчатой, мелкозернистой, среднезернистой, крупнозернистой (по виду посыпки) [11].

Некоторые авторы [12] кровельные материалы делят на такие разновидности: органические кровли (рубероид, филозол, стеклоизол, битумная черепица, ондулин, мембраны); металлические кровли (профнастил, металлочерепица); минеральные кровли (керамическая, цементно-песчаная черепица, хризотил-цементный лист).

Эффективность применения кровельных материалов определяется зависимостью от целого ряда критериев, таких, как: стоимость, срок службы, особенности устройства, особенности эксплуатации, морозостойкость, звукоизоляция, теплопроводность, наиболее важными из которых, безусловно, являются стоимость, срок службы и особенности устройства.

Для решения задачи моделирования технико-экономических показателей с учетом одинакового варианта утепления кровли был отобран объект-представитель, на примере которого выполнены расчеты.

В качестве объекта исследования принято двухэтажное здание, в котором необходимо выполнить реконструкцию с устройством мансардного этажа. Здание кирпичное с подвалом и чердачной вальмовой кровлей из четырех скатов, которые соединяются в одной точке. В плане размеры здания по внутренним габаритам - 11,3x27,0 м. Реконструкция здания предполагает проведение многих видов работ, однако в данном исследовании выполнен анализ эффективности различных вариантов замены кровли. После реконструкции здание будет полностью соответствовать современным требованиям, а также будет иметь дополнительные коммерческие площади на первом этаже для аренды или ведения собственного бизнеса. Помещения освещены естественным светом в соответствии с требованиями СНиП 31-01-2003, и имеют отдельные входы.

Запроектирован мансардный этаж, в котором размещаются служебные и технические помещения торгового центра. Служебные помещения представлены кабинетами администратора, бухгалтерии, торговых представителей. На мансардном этаже запроектирован балкон, служащий, при необходимости, аварийным выходом для 15 человек. Выход на кровлю предусмотрен по металлической наружной лестнице с южного фасада здания (наружный периметр здания 97 м).

Принято решение о применении мелкоштучного кровельного материала: черепицы. Проводится сравнение пяти технологий устройства кровли, получивших наибольшее распространение: кровля из металлочерепицы, керамической черепицы, из полимерпесчаной черепицы, из битумной черепицы, из фотогальванической черепицы.

Определение наиболее эффективного варианта устройства кровли осуществляется на основании рассчитанных объемов работ, трудоемкости, продолжительности. По технологическим расчётам строится график производства работ. Затем выполняются сметные расчёты и сравниваются все технико-экономические показатели (рис. 1 - 4).

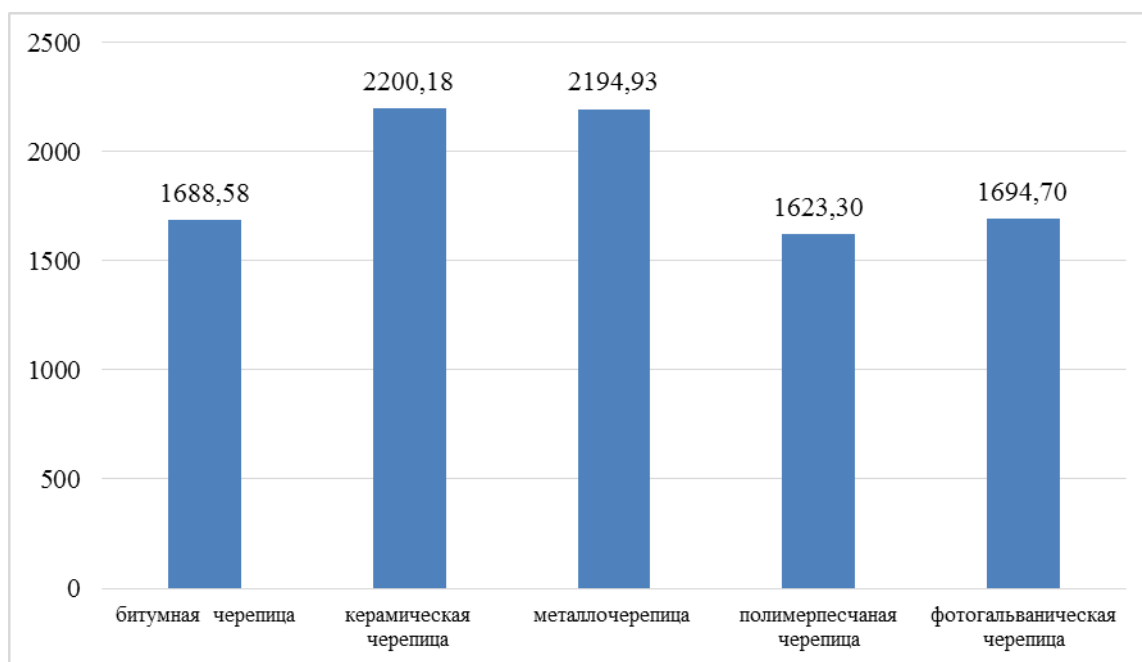


Рис. 1. – Трудоемкость устройства кровли из черепицы, чел.-час.

На рис. 1 представлена трудоёмкость устройства кровли из черепицы для анализируемого объекта. Здесь следует отметить, что наименее трудоемким является процесс устройства кровли полимерпесчаной черепицы – 1623 чел.-часа. А наиболее трудоемким процессом из керамочерепицы - 2200 чел.-часа. Разница в трудоемкости между наиболее и наименее трудоемким вариантом устройства кровли составляет 36 %.

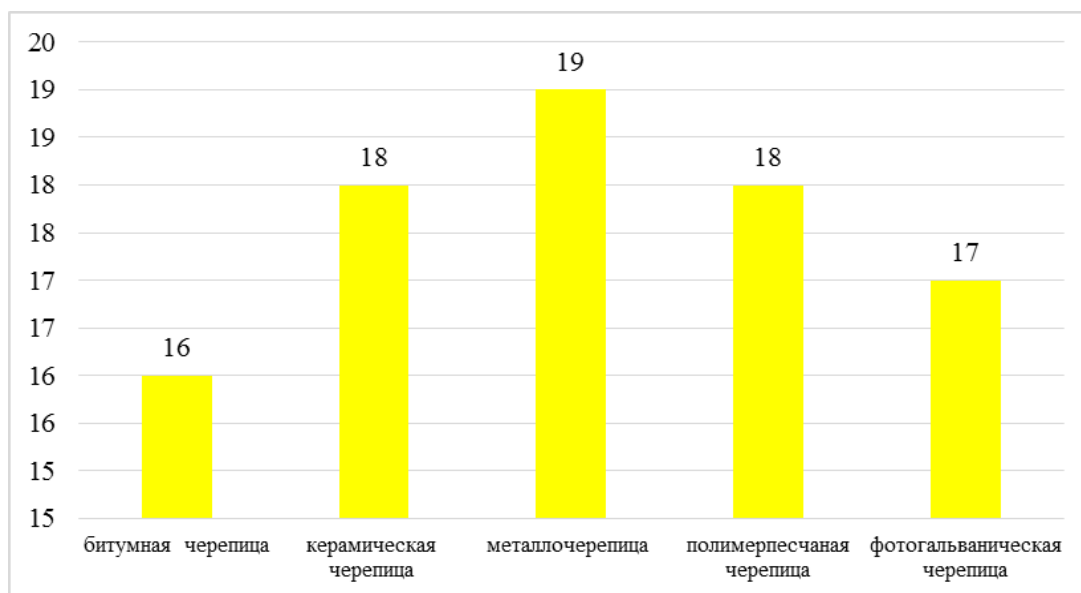


Рис. 2. – Продолжительность устройства кровли, дни

Продолжительность устройства кровли находится в диапазоне от 16 до 19 дней и представлена на рис. 2. Наибольшая продолжительность устройства, согласно выполненным расчетам, у кровли из металлочерепицы – 19 дней. Наименьшая продолжительность устройства кровли из битумной и фотогальванической черепицы: 16 и 17 дней соответственно.

На рис. 3 представлена заработная плата рабочих, занятых при устройстве кровли.

Из данных, представленных на рис. 3, видно, что наибольшая заработная плата составляет 538,32 тыс. руб. при устройстве фотогальванической черепицы. В то же время наименьшая заработная плата составляет 303,27 тыс. руб. при устройстве кровли из битумной черепицы.

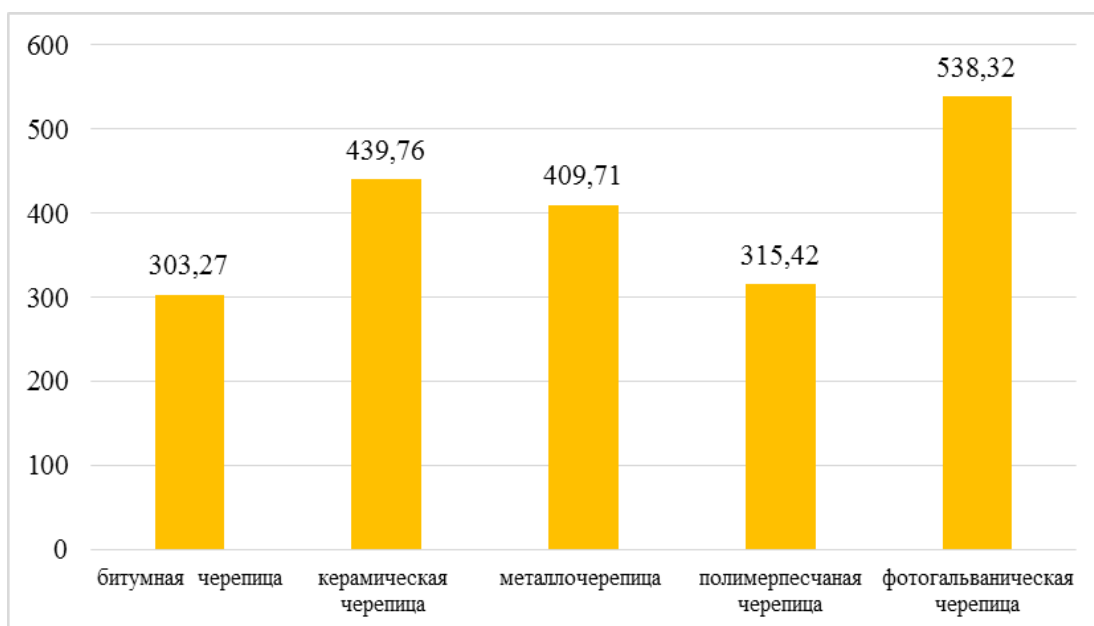


Рис. 3. - Зарботная плата рабочих, занятых при устройстве кровли, тыс. руб.

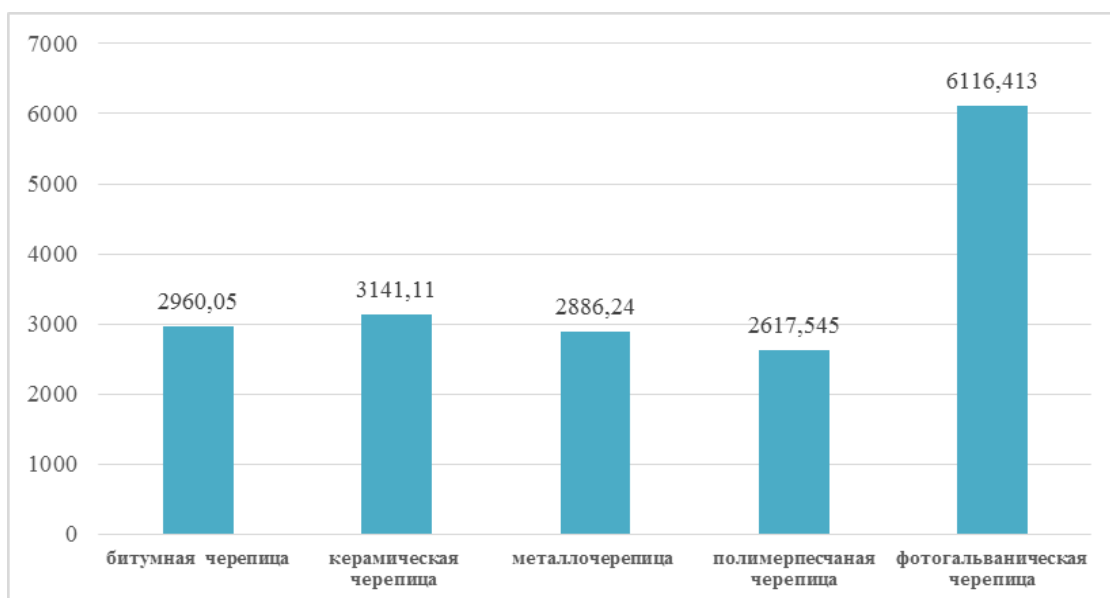


Рис. 4. – Сметная стоимость устройства кровли, тыс. руб.

Исходя из данных, представленных на рис. 4, видно, что наиболее дорогостоящим вариантом устройства кровли является кровля из

фотогальванической черепицы, сметная стоимость которой составляет 6,116 млн. рублей. В то же время наиболее дешёвой является кровля из полимерпесчанной черепицы (2,617 млн. руб.). Сметная стоимость устройства остальных трех видов различных кровель находится в диапазоне от 2,88 млн. руб. до 3,1 млн. руб. Разница между сметной стоимостью наиболее дорогостоящего вида кровли и варианта кровли с низкой стоимостью составляет 206%.

Предлагаемая методика выбора рациональной технологии и организации работ по устройству скатной кровли на основе экономико-математического моделирования состоит из четырех основных этапов:

1 этап. Систематизация технико-экономических показателей для выбора варианта устройства кровли.

2 этап. Расчет значения аддитивного критерия оптимальности.

3 этап. Нормализация критериев оптимальности.

4 этап. Выводы по итогам оптимизации и выбор наиболее эффективного варианта.

Предлагаемая методика решает задачу оптимальности на основании целевой функции. В аддитивном критерии оптимальности для нормализации критериев применяются нормирующие множители, т.е. весовые коэффициенты, которые позволяют учесть важность каждого выходного параметра в общей оценке оптимальности. Они определяются экспертным путем и могут изменяться для достижения различных результатов оптимизации. Возможно также использование мультипликативных критериев, когда целевая функция представляет собой произведение выходных параметров на их весовые коэффициенты. Важно отметить, что выбор критерия оптимальности зависит от конкретной задачи и целей, которые стоят перед оптимизацией.

Для экономико-математического моделирования выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли будем применять аддитивный критерий оптимальности (табл. № 1).

Таблица № 1

Таблица значения частных критериев

Варианты (стратегии)	Критерий №1 Сметная стоимость	Критерий №2 Трудоемкость	Критерий №3 Заработная плата	Критерий №4 Продолжительность	Критерий №5 Срок службы
Вариант №1 битумная черепица	2960	1689	303	16	30
Вариант №2 керамическая черепица	3141	2200	440	18	100
Вариант №3 металлочерепица	2886	2195	410	19	50
Вариант №4 полимерпесчанная черепица	2618	1623	315	18	30
Вариант №5 фотогальваническая черепица	6116	1695	538	17	25
Вес критерия, λ_j	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Аддитивный критерий оптимальности определен по следующей формуле:

$$F(a_{ij}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j * a_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \quad (2)$$

где a_{ij} – значение 1-5 частного критерия;

λ_j - вес 1-5 частного критерия.

В аддитивных критериях целевая функция формируется путем сложения безразмерных значений выходных параметров, умноженных на весовые коэффициенты.

Некоторые исследователи считают, что недостатками аддитивного критерия является субъективный подход к выбору весовых коэффициентов, однако в данном исследовании учитываются пять основных критериев: сметная стоимость, трудоемкость, заработная плата, продолжительность устройства, срок службы, каждому из которых присваивается одинаковый вес.

Нам необходимо минимизировать критерии: сметная стоимость, заработная плата, трудоемкость, продолжительность, а критерий срок службы максимизировать.

Проведем процедуру нормализации критериев в таблице № 2.

Таблица № 2

Нормализация критериев

Варианты (стратегии)	Критерий №1	Критерий №2	Критерий №3	Критерий №4	Критерий №5
Вариант №1	$1-2960/6116 = 0,516$	$1-1689/2200 = 0,233$	$1-303/538 = 0,437$	$1-16/19 = 0,1581$	$30/100 = 0,3$
Вариант №2	$1-3141/6116 = 0,486$	$1-2200/2200 = 0,0$	$1-440/538 = 0,183$	$1-18/19 = 0,053$	$100/100 = 1$
Вариант №3	$1-2886/6116 = 0,528$	$1-2195/2200 = 0,002$	$1-410/538 = 0,239$	$1-19/19 = 0,0$	$50/100 = 0,5$
Вариант №4	$1-2618/6116 = 0,572$	$1-1623/2200 = 0,262$	$1-315/538 = 0,414$	$1-18/19 = 0,053$	$30/100 = 0,3$
Вариант №5	$1-6116/6116 = 0,0$	$1-1695/2200 = 0,230$	$1-538/538 = 0,0$	$1-17/19 = 0,105$	$25/100 = 0,25$
max	6116	2200	538	19	100

Результаты расчетов значения аддитивного критерия оптимальности по формуле 1 и 2 представлены на рис. 5.

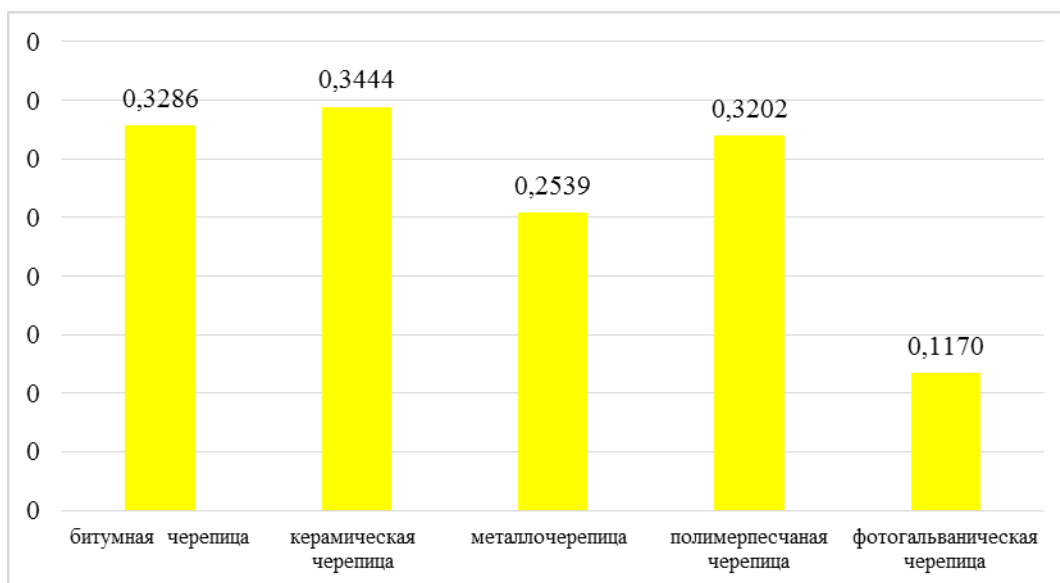


Рис. 5. – Значения аддитивного критерия оптимальности для разных видов кровли

Используя предложенную в работе методику, делаем вывод о необходимости выбора стратегии варианта №2, с устройством кровли из керамической черепицы, так как наибольшее значение аддитивного критерия оптимальности получено по данному варианту с учетом равного весового коэффициента. Предлагаемая методика является достаточно гибким инструментом для выбора целесообразного варианта устройства кровли на основе применения экономико-математического инструментария, так как позволяет изменять количество рассматриваемых вариантов и значение весового коэффициента в зависимости от целей исследования.

Выводы

Необходимость решения проблемы повышения энергоэффективности и экологичности проектных решений в сфере ограждающих конструкций кровли, может быть достигнута посредством увеличения сроков эксплуатации зданий, а, соответственно, снижение эксплуатационных расходов, является важным условием дальнейшего развития строительной отрасли. В статье получила развитие методика выбора целесообразного варианта устройства кровли на основе применения экономико-

математического инструментария, с опорой на проведенный анализ и результаты расчета технико-экономических показателей. Ключевым критерием, повлиявшим на значение аддитивного критерия оптимальности, являлся срок службы кровли. Таким образом, можно сделать вывод, что применение представленной методики позволит осуществлять эффективный выбор целесообразного варианта устройства кровли с учетом требований энергоэффективности и экологичности.

Дальнейшие научные исследования будут посвящены обоснованию и детальной разработке технологии и организации устройства наиболее эффективного варианта кровли для выбранного объекта.

Литература

1. Мамонтов А.А. Анализ фактического состояния покрытий кровли жилых зданий в городе Тамбове // *Universum: технические науки*, 2023, №10. URL: 7universum.com/ru/tech/archive/item/16152
2. Чередниченко Т.Ф., Чеснокова О.Г., Полухин Н.Д. Сравнительный анализ температурных режимов многослойной ограждающей конструкции кровли здания в зависимости от положения слоев утеплителя // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2020. № 4 (81). С. 249-258.
3. Tsopa N., Kovalskaya L., Malakhova V., Avakyan A. The impact of organizational and technological factors on energy efficiency of complex renovation of residential development // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. T. 231. Pp. 441-447.
4. Егоров А.Н., Тугушев А.А. Вариантное конструктивно-технологическое проектирование инверсионной кровли на основе



экспертного анализа // Инженерный вестник Дона, 2023, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52__1_egorov_tugushev.pdf_00ea1897fb.pdf

5. Сулейманова Л.А., Медведев С.А. Анализ причин и способов реконструкции кровель гражданских зданий // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 271-275.

6. Rahman, Sazzadur & Perera, Srinath & Odeyinka, Henry & Bi, Y. A knowledge-based decision support system for roofing materials selection // RICS COBRA Research Conference, University of Cape Town. 2009. Pp. 1753-1762.

7. Tsopa N.V., Malakhova V.V., Fedorkina M.S. Construction project management technology based on the theory of system stability // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Pp. 012063.

8. Шаленный В.Т., Акимов С.Ф., Акимова Э.Ш., Никульшин М.В. Повышение эффективности устройства мягких кровельных покрытий здания Севастопольской больницы скорой помощи // Экономика строительства и природопользования. 2023. № 2. С. 66-78.

9. Шеина С.Г., Терюков Н.А. Система водяного обогрева кровли и водостоков зданий // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_9_Sheina_Teryukov.pdf_7b086061b4.pdf

10. Полозюк В.В. Кровля и гидроизоляция на длительный срок // Строительные материалы. 2003. № 12. С. 7-8.

11. Турчанинов В.И. Современные кровельные материалы. Оренбург: ОГУ, 2019. 205 с.

12. Бондаренко И.Н., Нейман С.М., Созинов С.В. Современные кровельные материалы и конструкции кровель, используемые для жилых и промышленных зданий // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 31 – 37.

References

1. Mamontov A.A. Universum: technical sciences, 2023, № 10. URL: 7universum.com/ru/tech/archive/item/16152
2. Cherednichenko T.F., Chesnokova O.G., Poluhin N.D. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2020. № 4 (81). pp. 249-258.
3. Tsopa N., Kovalskaya L., Malakhova V., Avakyan A. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. T. 231. Pp. 441-447.
4. Egorov A.N., Tugushev A.A. Inzhenernyj vestnik Dona , 2023, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52__1_egorov_tugushev.pdf_00ea1897fb.pdf
5. Sulejmanova L.A., Medvedev S.A. Nauka i innovacii v stroitel'stve. Sbornik dokladov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii k 65-letiju BGTU im. V.G. Shuhova. 2019. pp. 271-275.
6. Rahman, Sazzadur & Perera, Srinath & Odeyinka, Henry & Bi, Y. RICS COBRA Research Conference, University of Cape Town. 2009. Pp. 1753-1762.
7. Tsopa N.V., Malakhova V.V., Fedorkina M.S. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Pp. 012063.
8. Shalennyj V.T., Akimov S.F., Akimova Je.Sh., Nikul'shin M.V. Jekonomika stroitel'stva i prirodoopol'zovanija. 2023. №. 2 (87). pp. 66-78.
9. Sheina S.G., Terjukov N.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №. 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_9_Sheina_Teryukov.pdf_7b086061b4.pdf
10. Polozjuk V.V. Stroitel'nye materialy. 2003. №. 12. pp. 7-8.
11. Turchaninov V.I. Sovremennye krovel'nye materialy [Modern roofing materials]. Orenburg: OGU, 2019. 205 p.
12. Bondarenko I.N., Nejman S.M., Sozinov S.V. Vestnik MGSU. 2010. №. 4. pp. 31-37.

Дата поступления: 21.02.2024

Дата публикации: 5.04.2024
