

УДК 69.059.002.8

## О МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА

Дмитриева Н.В., Иванова Т.И., Гострик А.Н.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В статье отражена проблема гидроизоляции конструкций из известняка ракушечника. Рассмотрена методика многокритериального анализа выбора технологических решений гидроизоляционных систем конструкций зданий и сооружений из известняка ракушечника. Приведен алгоритм выбора рационального решения на основе критериев экспертной оценки. Определены количественные и качественные критерии оценки технологических решений.

**Ключевые слова:** оценочные критерии, многокритериальный анализ, алгоритм, известняк-ракушечник, системы гидроизоляции, технологические решения.

**Постановка проблемы.** Сегодня уже накоплен колоссальный опыт проектирования и возведения самых сложных объектов подземного строительства. Созданы новые прогрессивные конструктивные и организационно-технологические решения гидроизоляции подземных объектов, в том числе для условий стесненного городского строительства [1].

Главный акцент при комплексном решении проблем гидроизоляции подземных конструкций приходится сегодня на поиск путей рационального применения известных методов гидроизоляции и существенного повышения показателей долговечности гидроизоляционных систем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам защиты конструкций подземной части зданий и устройства гидроизоляции посвящены труды С.Н. Алексева, В.О. Афанасьева, В.И. Бабушкина, В.В. Бойко, Ю.М. Баженова, Д.Ф. Гончаренко, В.А. Ивахнюка, В.С. Искрина, В.М. Кинос, В.В. Козлова, Т.С. Кравчуновской, В.В. Савйовского, В.И. Торкатюка, Р.Б. Тянь, И.А. Рыбьева, С.Н. Попченко, К. Хильмера, В.К. Черненко, Т.М. Штоль.

Научной и теоретической основой методологии многокритериальных методов принятия решения стали труды таких авторов как Т.Л. Сатаи, Ф. Цвики, О.И. Ларичева, А.И. Менейлюка.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Формирование системы надежности заключается в выборе и применении эффективных технологических решений гидроизоляции конструкций зданий и сооружений из известняка ракушечника.

Несмотря на некоторый накопленный опыт использования различных технологий восстановления гидроизоляции каменных конструкций необходимо учитывать, что не существует определенных рекомендаций для гидроизоляции известняка-ракушечника. Так как физико-механические свойства известняка-ракушечника исследованы недостаточно для выбора рационального технологического решения восстановления гидроизоляции.

Причины повреждения гидроизоляционного слоя и способы их устранения изучены, но методы восстановления и устройства гидроизоляции на прямую зависят от условий производства работ, свойств известняка-ракушечника и гидроизоляционных материалов, которые постоянно модернизируются.

Повышение эффективности применяемых технологий устройства гидроизоляции всегда актуально, так как с каждым годом появляются новые решения в области строительного материаловедения.

**Формулировка цели статьи.** Целью статьи является проведение многокритериального анализа материалов, оборудования и методов восстановления гидроизоляции, согласно разработанной методики, основанной на экспертной оценке выбора решений.

**Изложения основного материала.** Не менее важным фактором обеспечения надежной и долговечной эксплуатации гидроизоляционных систем является четко сформулированные технологические основы применения того или иного вида гидроизоляционных материалов, а также методы достоверной оценки эксплуатационного ресурса системы гидроизоляции. Этим проблемам строительная наука практически не уделяет внимания [2].

Эксплуатационная эффективность систем гидроизоляции строительных конструкций и сооружений зависит от многих факторов: физико-механических возможностей гидроизоляционных материалов, эффективности разработки конструктивных решений с учетом возможных нагрузок, состояния материала оснований, но, прежде всего, от четко сформулированных и реализованных в процессе производства работ технологических параметров систем. Нарушение технологии устройства или рекомендуемых условий эксплуатации приводит к ухудшению характеристик элемента и системы в целом. Достоверная оценка и создание условий для эксплуатационной эффективности систем штукатурной гидроизоляции позволяют сберечь значительные средства на ремонт и восстановление систем в процессе эксплуатации, продлить сроки эксплуатации зданий и сооружений.

Обилие различных технологий с большим разнообразием технологических средств, требует наличия и использования оценочных критериев, с помощью которых могут быть выбраны наиболее эффективные и рациональные технологические решения, в том числе материалы и оборудование для устройства гидроизоляции конструкций из известняка-ракушечника.

В научной и технической литературе большинство работ за последние годы посвящено методам оптимального выбора организационно-технологических решений при разработке календарных планов и графиков в составе проектов. Обоснование организационно-технологических решений проводится, в основном, с использованием методов сетевого планирования и управления в сочетании с эвристическими алгоритмами: направленного перебора вариантов по заданным критериям, а также методов линейного программирования (симплекс-метода, метода потенциалов, венгерского метода, метода «северо-западного угла») [4]. Однако их использование не позволяет учитывать многих факторов при обосновании технологических и конструктивно-технологических решений.

Разработка методики выполнения многокритериального анализа поиск оп-

тимальных технологических решений устройства гидроизоляции и оценить весомость критериев объединяет в себе основы нескольких методов.

Начальный этап анализа основан на текстологических методах, которые включают в себя работу с различного рода документацией. Сюда же можно отнести поисковые методы работы с Internet, отраслевыми, городскими и другими базами данных. Это также методы работы с научно-технической, справочной документацией, рекламными материалами, накопление и анализ сообщений прессы, радио и телевидения.

Собранный материал по исследуемой теме далее подлежит структуризации. Один из таких методов многокритериального анализа является метод анализа иерархий (МАИ) разработанный американским математиком Томасом Саати. Метод анализа иерархий начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Эта структура отражает понимание проблемы лицом, принимающим решение. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки [3].

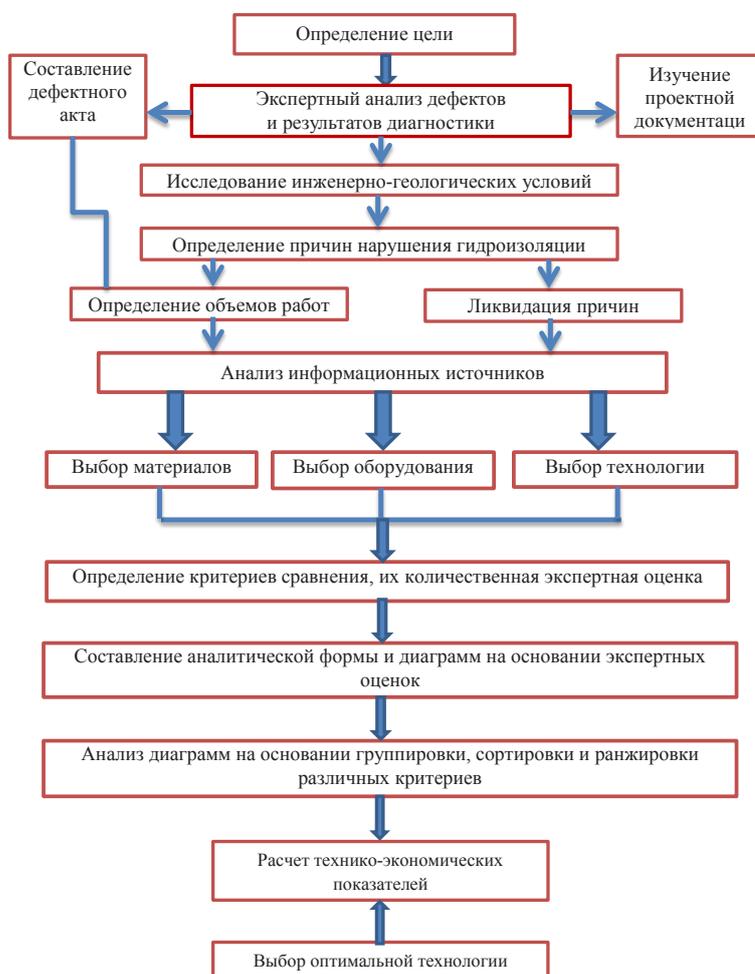


Рис. 1. Алгоритм выбора технологического решения устройства гидроизоляции на основе многокритериального анализа

Итак, при применении большинства методов многокритериального анализа возникают две основные проблемы: как получить оценки по отдельным критериям и как объединить, агрегировать эти оценки в общую оценку полезности альтернативы.

Критериями выбора служат показатели, которые наиболее полно и объективно оценивают объект исследования, сопоставляют варианты-налоги, учитывая все его основные характеристики.

Под критерием понимаем способ оценки и сравнения некоторого качества анализируемых вариантов решения.

Например, технологические решения устройства гидроизоляционной системы можно оценивать по их трудоемкости, продолжительности выполнения, стоимости, эксплуатационной надежности, механизации работ и т.п.

При применении формальных методов оценки альтернатив (решений) чаще всего используются балльные шкалы (например, от 1 до 10). Оценки чаще всего выносят эксперты, мнения которых затем сводятся к единой оценке. Например, с применением метода ранжирования [3].

С точки зрения системного анализа, модель многокритериального выбора имеет важное методологическое значение. Во-первых, необходимо осознать и выделить стоящую перед нами проблему. Для этого необходимо достаточно четко описать проблемную область, поставить цель, предложить варианты решения – альтернативы. И чем богаче множество альтернатив, тем выше вероятность получения более качественного решения. Нужно осознать, явно обозначить и определить критерии оценки и отбора альтернатив [3].

Явное обсуждение альтернатив решения, критериев оценки и их важностей дает возможность рассмотреть различные точки зрения в единой шкале, в рамках единого подхода.

Коммуникативные методы подразделяются на индивидуальные – когда варианты решения генерирует единственный эксперт, и групповые. К индивидуальным методам относится, например, анкетирование, интервью, диалог. Более плодотворными в смысле порождения альтернатив являются групповые методы. Это, в первую очередь, мозговой штурм – когда в условиях отсутствия критики порождаются любые, казалось

Таблица 1

## Сравнение технологий восстановления гидроизоляции конструкций из известняка-ракушечника

№ п.п.	Критерии оценки технологий	Наименование технологии гидроизоляции							
		Жесткая	Окрашенная	Штукатурная	Оклеенная	Инъекционная	проницающего действия	бентонитовыми материалами	Дренажная
1.	Возможность восстановления утраченной гидроизоляции конструкций из известняка-ракушечника	да	да	да	да	да	да	да	да
		Количество баллов							
		5	5	5	5	5	5	5	5
2.	Возможность производства работ в условиях плотной городской застройки и с внутренней стороны здания	да	да	да	нет	да	да	нет	нет
		Количество баллов							
		5	5	5	1	5	5	3	1
3.	Требует специальной подготовки поверхности до обработки	да	да	да	да	да	да	да	да
		Количество баллов							
		1	1	1	1	1	1	1	1
4.	Показатель продолжительности устройства полного комплекса работ на 1 м <sup>2</sup>	3 часа	10 мин.	20 мин	18 мин	1 час	15 мин	10 мин	3 час
		Количество баллов							
		1	5	3	4	2	4	5	1
5.	Показатель экологичности при использовании технологии	да	нет	да	нет	нет	нет	да	да
		Количество баллов							
		5	1	4	3	3	1	5	5
6.	Возможность использования механизированного комплекса	нет	да	да	нет	да	нет	нет	нет
		Количество баллов							
		1	5	5	1	5	1	1	1
7.	Возможность проведения работы при отрицательной температуре	да	да	да	нет	да	нет	нет	нет
		Количество баллов							
		5	5	5	1	5	1	1	1
8.	Возможность использования специальных улучшающих добавок	да	нет	да	да	да	да	да	нет
		Количество баллов							
		5	1	5	5	5	5	5	1
9.	Необходимое минимальное количество наносимых слоев	2-3	2	2	2	1	2-3	1	1
		Количество баллов							
		3	4	4	4	5	3	5	5
10.	Продолжительность дополнительного ухода после нанесения, дни	12-15	14	14	2	7	5	10	10
		Количество баллов							
		1	2	2	5	4	4	3	3
11.	Сумма баллов	32	34	39	30	40	30	34	24

Составлено по источникам [1, 6-11]

бы, даже самые дикие варианты. Другая известная группа методов – деловые игры, а также метод круглого стола. Особенно эффективным является игровой подход, в рамках которого организуется конкурентное взаимодействие групп экспертов [4].

Критерии выбора гидроизоляции имеют многоуровневый подход, который предполагает решение многочисленных задач: технических, технологических, эксплуатационных, экономических и экологических.

Алгоритм выбора заключается в следующем (рис. 1).

Построение структуры анализа. Определение цели: технология устройства гидроизоляции при реконструкции зданий из известняка ракушечника в условиях плотной городской застройки.

Для предварительного сравнения методов на основании экспертной оценки имеющейся технической информации была составлена таблица 1 сравнения технологических решений гидроизоляции известняка-ракушечника по выбранным критериям.

Установление влияющих факторов путем индивидуальной работы специалистов экспертов.

Получение аналитической зависимости, отражающей степень влияния весомости критериев на рациональный выбор технологического решения [5].

Определение максимума и минимума шкалы оценивания критериев.

Весомость критерия оценивается по пятибалльной шкале, где оценке «1» – соответствует наименьшее значение критерия, оценке «5» – наивысшее. Первый этап анализа – ранжирование по степени значимости методов гидроизоляции на основании сведений, представленных в таблице 1.

Количественная оценка показателей 1-10 производилась по сумме баллов каждого критерия [5]. Наибольшие баллы показали такие технологии, как инъекционная (406), штукатурная (396), окрасочная (346) и бентонитовая (346).

На следующем этапе для последующего анализа выбранных методов гидроизоляции, в том числе, их количественной оценки. Для этого они проранжированы по принципу оценки технологических параметров. Так, некоторые из приведённых в таблице 1 критериев позволяют отбрасывать те или иные методы, другие – группировать по некоторым признакам, третьи – давать количественную оценку методам гидроизоляции [5].

Для проведения данного ранжирования был использован специальный инструмент MS Excel – «сводные диаграммы».

Первому и третьему критериям (см. строки 1 и 3, табл. 1) отвечают все методы, поэтому в анализе он не используется.

Среди методов, по таким показателям как возможность производства работ в условиях плотной городской застройки, при отрицательных температурах и с использованием механизированного оборудования не подходит гидроизоляция бентонитовыми материалами.

При этом наибольшей степенью щадящего воздействия на конструкцию и окружающую среду обладает бентонитовая гидроизоляция, обладая наибольшей степенью экологичности.

Оставшиеся методы проанализируем по критериям, позволяющим численно отобразить наиболее существенные показатели: показатель продолжительности работ, минимальное количество слоев нанесения, продолжительность ухода после нанесения.



Рис. 2. Показатель продолжительности устройства полного комплекса работ 1 м<sup>2</sup>

Продолжительность работ по инъекционной технологии в 3 раза больше чем устройство штукатурной гидроизоляции и в 6 раз больше окрасочной технологии.

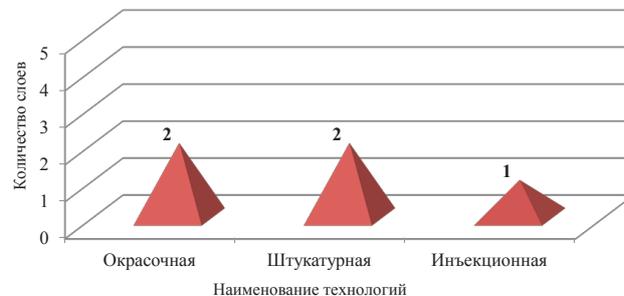


Рис. 3. Количество нанесенных слоев

Количество слоев влияет на продолжительность нанесения, на расход материалов, соответственно и стоимость, как материалов, так и работ. Так же необходимо учитывать технологические перерывы между нанесением каждого слоя. По данному критерию инъекционная технология показывает наилучшие результаты.



Рис. 4. Показатель продолжительности ухода после нанесения

Анализируя данную диаграмму рис. 4, отметим, что метод инъектирования требует наименьшее (почти в 2 раза) количество дней ухода после устройства гидроизоляции, чем штукатурная и окрасочная. На основе многокритериального анализа оптимальным решением является инъекционная технология устройства гидроизоляции.

**Вывод.** 1. Разработанный алгоритм многокритериального анализа позволяет соблюдать

ієрархічну послідовність виконання експериментально-теоретических дослідвань, котрі допомагають досягти поставленої цілі.

2. Многокритеріальний аналіз технологій устроювання і відновлення гідроізоляції по-

зволил визначити найбільш раціональний варіант, згідно єдиної балльної шкали.

3. Оптиміальним технологічним рішенням при устроюванні або відновленні гідроізоляції конструкцій із известняка-ракушечника є ін'єкційна технологія.

### Список літератури:

1. Зарубина Л.П. Гідроізоляція конструкцій, звань і споруджень / Зарубина Л.П. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. – 28 с.
2. Карапузов Е.К. Гідроізоляція / Карапузов Е.К. // Навчальний посібник. – К.: Вища освіта, 2012. – 276 с.
3. Саати Т.Л. Принятіє рішень. Метод аналізу ієрархій. – М.: Радио і зв'язь, 1989. – 316 с.
4. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритеріальні методи прийняття рішень. М. Знание, 1985.
5. Менейлюк А.И. Оптимізація організаційно-технологіческих рішень реконструкції висотних інженерних споруджень / А.И. Менейлюк, М.Н. Ершов, А.Л. Никифоров, І.А. Менейлюк // Монографія. – К.: ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. – 332 с.
6. Вуйцик Р. Механіческіє методи устроювання горизонтальної гідроізоляції в історических звань // Строительніє матеріали, № 9, 2006, с. 58-59.
7. Кизима В.П. Теплоізоляційні та гідроізоляційні роботи у будівництві / Кизима В.П., Яківчук В.В., Люльчик О.В. // Тернопіль: Підручніє і посібніє, 2010. – 256 с.
8. Поваляев М.И. Фізико-техніческіє свійства гідроізоляційних полімерних матеріалів / М.И. Поваляев, Г.Н. Андреева, Л.И. Дмитренко // Строительніє матеріали. – 1981. – № 4. – С. 23-24.
9. Краснов П.Л. Как правильно визначити якість бітумно-полімерних матеріалів / П.Л. Краснов, И.Г. Погост // Строительніє матеріали, 2001. – № 3. – С. 14.
10. ДСТУ Б В.2.7-101-2000 (ГОСТ 30547-97). Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови.
11. ДСТУ Б В.2.7-108-2001 (ГОСТ 30693-2000). Мастикі покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови.

**Дмитрієва Н.В., Іванова Т.І., Гострик А.М.**

Одеська державна академія будівництва та архітектури

## ПРО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКУ

### Анотація

У статті висвітлено проблема гідроізоляції конструкцій з вапняку черепашнику. Розглянуто методику багатокритеріального аналізу вибору технологічних рішень гідроізоляційних систем конструкцій будівель і споруд з вапняку черепашнику. Наведено алгоритм вибору оптимального рішення на основі критеріїв експертної оцінки. Визначено кількісні та якісні критерії оцінки технологічних рішень.

**Ключові слова:** оціночні критерії, багатокритеріальний аналіз, алгоритм, вапняк-черепашник, системи гідроізоляції, технологічні рішення.

**Dmytriieva N.V., Ivanova T.I., Hostryk A.M.**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

## ABOUT MULTI-CRITERIAL ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL DECISIONS OF WATERPROOFING FROM LIMESTONE SHELL ROCK

### Summary

The article reflects the problem of waterproofing from limestone shell rock. The methodology of multicriteria analysis of the choice of technological solutions for waterproofing systems of structures of buildings and structures from limestone shell rock is considered. The algorithm for choosing a rational solution based on the criteria of expert evaluation is given. Quantitative and qualitative criteria for evaluating technological solutions are determined.

**Keywords:** evaluation criteria, multicriteria analysis, algorithm, limestone-shell rock, waterproofing systems, technological decisions.