

УДК 69.003

**Ю.С. Логинова, О.В. Петренева**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ДВА МЕТОДА РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Представлено сравнение двух вариантов решения многофакторных задач при выборе альтернатив в строительных проектах. Использование экономических методов обоснования выбора из альтернативных вариантов позволит повысить качество проектов, снизить финансовые затраты и, как следствие, сократить сроки строительства. Один из методов – метод анализа иерархий (системный анализ иерархических структур) – основан на обработке массива матриц. Метод предполагает использование собственного вектора в качестве вектора приоритетов. Второй метод возможно реализовать с помощью программного комплекса «Декон», который предназначен для исследования, разработки и практического применения механизмов комплексного оценивания сложных объектов. Применительно к рассматриваемому вопросу «Декон» – это программа, предназначенная для минимизации и учета человеческого фактора при оценивании альтернативных вариантов, с помощью которой можно математически обосновать выбор, а также выявить сильные и слабые стороны каждого из них. Представлено практическое применение методов решения задач в условиях неопределенности на примере выбора одной из технологий бетонирования в зимний период времени – использование противоморозных добавок. Сформулированы основные идеи методов. Сделан вывод об эффективности и применимости каждого метода к решению сложных задач при определении экономической эффективности приоритетных вариантов в строительстве.

**Ключевые слова:** оценка, иерархия, критерии, матрица свертки, альтернатива, эффективность, инвестиции, технологии строительства.

На сегодняшний день в сфере строительства остро стоит вопрос о финансовой экономии при сохранении качества проектируемого объекта. При этом участники строительства должны в кратчайшие сроки найти решение сложной системы взаимозависимых компонент, таких как технологии строительства, стоимостные и натуральные показатели эффективности этих технологий, ресурсов компании.

Сфера строительства характеризуется наукоемкостью, трудоемкостью, высоким уровнем затрат на строительные проекты, а также является зависимой от временных затрат, и, как следствие, все участники строительного процесса заинтересованы в снижении инвестиционных вложений и сокращении времени строительства объектов. В то же время практика строительства за рубежом наглядно демонстрирует, что зачастую различие между фактическими и ориентировочными затратами на капиталовложения часто составляет 50–100 %, и для многих проектов перерасход средств в конечном итоге начинает угрожать жизнеспособности самого проекта.

Лицо, принимающее решение (ЛПР), сталкивается с двумя глобальными задачами. Во-первых, при выборе технологии строительства необходимо учесть количественные (экономические, стоимостные) и качественные (натуральные) показатели этой технологии. Традиционно эта задача решается с помощью выбора приоритетного показателя, тем самым система выбора упраздняется и можно говорить о недостоверности полученных результатов. Во-вторых, необходимо произвести ранжирование и выбрать среди всех имеющихся технологий единственную, которая бы удовлетворяла требованию экономической эффективности. Работы ученых, посвященные выбору альтернативных вариантов, демонстрируют, что выбор строительной технологии можно осуществить только с помощью многокритериальной оценки эффективности.

В данной статье рассмотрены и проанализированы два метода решения многофакторных задач в строительстве, а именно – задачи по определению эффективности организационно-технологического варианта зимнего бетонирования конструкций. Указанное направление выбрано не случайно. Продолжительные холода на территории России вынуждают находить все более современные и экономичные варианты строительства в зимний период.

Одна из основных проблем строительства при отрицательных температурах – плохое застывание цементного раствора.

Существует множество технологий бетонирования в зимних условиях, но самой распространенной является введение в бетон химических веществ – противоморозных добавок (ПМД). Данный метод используется как самостоятельно, так и в сочетании с другими методами для достижения наилучшего эффекта, например с электропрогревом.

На рынке представлены десятки разновидностей противоморозных добавок, и поэтому становится актуальной задача выбора наиболее оптимальной из них с точки зрения вложения инвестиций.

Как отмечают эксперты, применение тех или иных материалов и средств для зимнего бетонирования в первую очередь зависит от финансовых возможностей застройщика. Таким образом, первый критерий оценки ПМД – это цена. Второй немаловажный фактор – это расход ПМД или процент введения добавки в зависимости от массы цемента. И третий критерий, который значительно влияет на ход строительства, – это сроки схватывания бетонного раствора при использовании той или иной противоморозной добавки.

Классическое решение этой задачи состоит из следующих этапов:

1. Определение критериев, на основе которых необходимо провести сравнение альтернатив.
2. Выбор главного критерия.
3. Ранжирование критериев.
4. Поиск компромиссного варианта, т.е. пренебрежение значением какого-либо критерия с целью получения заданного превосходства по другим критериям.

Однако существует метод решения многокритериальных задач, позволяющий учесть все факторы, влияющие на выбор варианта, – использование собственного вектора в качестве вектора приоритетов или методология анализа иерархий – МАИ (системный анализ иерархических структур). Данный метод разработан американским ученым Т. Саати [1].

Итак, приведем все вышеизложенное в соответствие методу МАИ, т.е. построим иерархию проблемы выбора ПМД (рис. 1).

Схема иллюстрирует основную цель проблемы выбора технологии, которая в нашем частном случае звучит как «выбор наиболее эффективной противоморозной добавки при температуре наружного воздуха до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ». При этом эффективность ПМД определяется не одной, а несколькими (в данном случае тремя) целями, которые определены с учетом интересов участников строительства (заказчика, подрядчика). Третий уровень представлен альтернативами – анализируемыми ПМД.

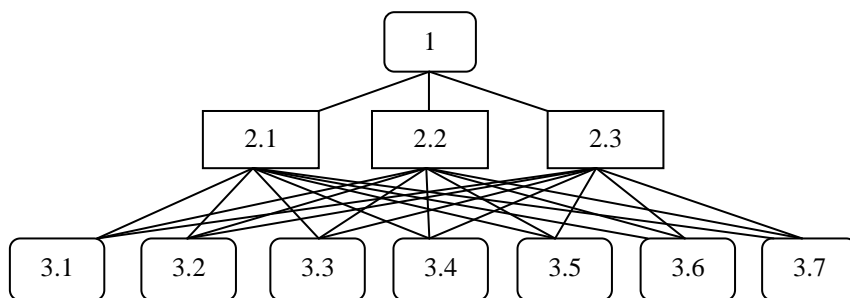


Рис. 1. Иерархия проблемы выбора ПМД

Вклад, который вносит каждая цель второго уровня в ведущую цель, не одинаков. Он определяется важностью каждой конкретной цели второго уровня с точки зрения ведущей цели. Иными словами, необходимо определить вес каждой цели второго уровня по отношению к

главной цели. Точно так же рассматриваются альтернативы (3.1)–(3.7) – в зависимости от преимуществ по отношению к цели второго уровня определяется вклад каждой альтернативы в критерий (цель) второго уровня. Сумма вкладов каждого уровня не должна превышать 1.

ПМД с наибольшим весом по отношению к ведущей цели и будет наиболее эффективной, так как она учитывает цели всех уровней.

Представим номера вершин и соответствующие им названия в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Нормы вершины	Название
	<i>Ведущая цель</i>
1	Наиболее эффективная противоморозная добавка
	<i>Цели (критерии) второго уровня</i>
2.1	Уровень затрат (стоимость ПМД)
2.2	Расход ПМД (в % от массы цемента)
2.3	Сроки схватывания
	<i>Альтернативы</i>
3.1	Нитрат кальция
3.2	Криопласт П25-1
3.3	Нитрит натрия
3.4	Плантикор
3.5	Поташ
3.6	Полипласт СП-1
3.7	<b>Бенотех ПМП-1</b>

ПМД были выбраны на основе изученной нормативной литературы; данные добавки используются в строительстве при температуре окружающего воздуха до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Приведем описание ПМД в соответствии с критериями второго уровня (табл. 2).

Следующим этапом МАИ будет построение матриц попарных сравнений, в которых будет отражено суждение эксперта об относительном превосходстве в весе одного объекта над другим (табл. 3). Превосходство определяется путем присвоения объекту степени значимости по шкале от 1 до 9 [1].

Количественные суждения о парных сравнениях представляются квадратной матрицей размера  $n \times n$ :  $A = (a_{ij})$ ,  $(i, j = 1, 2, \dots, n)$ . Элемент  $a_{ij}$  определяется по следующему правилу [3]:

$$\text{если } a_{ij} = \alpha, \text{ то } a_{ji} = 1/\alpha, \alpha \neq 0, \alpha \in \{1, 2, \dots, 9\}.$$

Таблица 2

№ п/п	Название ПМД	Цена*, руб./кг	Процент введения добавки от массы цемента	Сроки схватывания
1	Нитрат кальция	36	10	28 сут – повышение прочности на 2 класса
2	Криопласт П25-1	66	1,5	7 сут – 15–17 % 28 сут – 27–32 %
3	Нитрит натрия	48,3	8	7 сут – 10–25 % 28 сут – 40–60 %
4	Плантикор	37	3,5	28 сут – 20–35 %
5	Поташ	50	11	28 сут – 50–70 %
6	Полипласт СП-1	56	4	7 сут – 40–60 %
7	<b>Бенотех ПМП-1</b>	29	5	28 сут – 30 %

\*В качестве источника информации по стоимости ПМД были использованы открытые источники – сайты производителей и поставщиков добавок.

Таблица 3

## Шкала отношений

Степень значимости	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Слабая значимость	Незначительное предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени убедительно
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение

Итак, пусть матрица парных сравнений критериев относительно ведущей цели получила вид, показанный в табл. 4.

Таблица 4

## Матрица парных сравнений критериев

Выбор ПМД	K1	K2	K3
K1	1	1	5
K2	1	1	4
K3	1/5	1/4	1

При сравнении первого критерия со вторым была выявлена одинаковая значимость критериев, что содержательно отражено значением 1 в ячейке  $a_{12}$ . При сравнении первого критерия с третьим определено сильное предпочтение цены добавки по отношению к срокам схватывания (5 в ячейке  $a_{13}$ ). Попарное сравнение второго критерия с третьим выявило превосходство второго критерия.

Далее определяем веса соответствующих вершин-критериев. Математически решение этой задачи заключается в определении собственного вектора полученной матрицы парных сравнений, соответствующего максимальному значению.

Для проведения всех необходимых вычислений была использована программа Excel, с помощью которой был получен вес критериев матрицы  $W_k = (0,484; 0,415; 0,1)^T$ , т.е. собственный вектор матрицы.

Следующий шаг – нахождение максимального собственного значения по формуле [3]

$$\lambda_{\max} = e^T A W_k, \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = 3,01.$$

Собственное значение позволяет отслеживать правильность построения матриц. Оно должно стремиться к порядку исследуемой матрицы.

Следует отметить, что в процессе вынесения экспертом суждений получаемые оценки не могут быть совершенно согласованы.

Метод исследования согласованности, предложенный в рамках МАИ, не только показывает отсутствие ее при отдельных сравнениях, но и дает численную оценку того, как сильно нарушена согласованность для рассматриваемой задачи. Показателем согласованности матрицы парных сравнений служит индекс согласованности [1]:

$$ИС = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1). \quad (2)$$

Приемлемым считается значение ИС, меньшее или равное 0,10.

Рассматриваемая матрица простая (размер  $3 \times 3$ ), она получилась полностью согласованной,  $ИС_k = 0$ .

Аналогично решается задача определения весов альтернатив относительно критериев ( $K_1, K_2, K_3$ ). Полученные после обработки результаты представлены в табл. 5–7.

Таблица 5

$K_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$W_{k1}$ (вес)
$a_1$	1	5	3	1	3	5	1/2	0,206
$a_2$	1/5	1	1/3	1/5	1/6	1/2	1/9	0,029
$a_3$	1/3	3	1	1/2	2	3	1/5	0,098
$a_4$	1	5	2	1	2	3	1/4	0,154
$a_5$	1/3	6	1/2	1/2	1	2	1/6	0,082
$a_6$	1/5	2	1/3	1/3	1/2	1	1/4	0,050
$a_7$	2	9	5	4	6	4	1	0,381
$\lambda_{\max} = 7,36$				<b>ИС = 0,06</b>				1,000

Таблица 6

$K_2$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$W_{k2}$ (вес)
$a_1$	1	1/5	1/2	1/4	1/2	1/4	1/5	0,039
$a_2$	5	1	5	2	9	2	3	0,344
$a_3$	2	1/5	1	1/2	2	3	1/3	0,103
$a_4$	4	1/2	2	1	5	1	2	0,189
$a_5$	2	1/9	1/2	1/5	1	1/6	1/4	0,041
$a_6$	4	1/2	1/3	1	6	1	1	0,129
$a_7$	5	1/3	3	1/2	4	1	1	0,156
$\lambda_{\max} = 7,68$				<b>ИС = 0,11</b>				1,000

Таблица 7

$K_3$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$W_{k3}$ (вес)
$a_1$	1	3	1	3	1	1/4	3	0,140
$a_2$	1/3	1	1/5	1	1/3	1/9	1	0,045
$a_3$	1	5	1	2	1	1/4	3	0,142
$a_4$	1/3	1	0,5	1	1/3	1/9	1	0,051
$a_5$	1	3	1	3	1	1/2	1/3	0,105
$a_6$	4	9	4	9	2	1	9	0,444
$a_7$	1/3	1	1/3	1	3	1/9	1	0,072
$\lambda_{\max} = 7,7$				<b>ИС = 0,11</b>				

Проанализировав полученные матрицы и полученные значения таких показателей, как максимальное собственное значение матрицы и индексы согласованности, делаем вывод о том, что матрицы согласованны и пригодны для дальнейшего расчета. Несмотря на то, что в табл. 6, 7  $ИС = 0,11 > ИС_n = 0,1$ , принимаем к расчету полученные показатели, так как значения близки между собой.

Заключительным этапом является иерархическая композиция – получение численных весов альтернатив относительно ведущей цели. Вес можно определить с помощью матричного умножения [1]:

$$W = [W_1 W_2 \dots W_n] W_k, \quad (3)$$

где  $[W_1 W_2 \dots W_n]$  – обозначение матрицы, образованной из векторов  $W_1, W_2 \dots W_n$ .

В нашем (частном) случае, где целей второго уровня три, формула (3) преобразуется следующим образом:

$$W = [W_1 W_2 W_3] W_k, \quad (4)$$

где  $W_1, W_2, W_3$  – векторы весов альтернатив соответственно относительно критериев  $K_1, K_2, K_3$ , найденные и представленные в табл. 5–7;  $W_k$  – вектор весов критериев относительно ведущей цели, найденный выше.

Другими словами, формируем матрицу из векторов весов альтернатив, рассчитанных в табл. 5–7, и перемножаем с вектором весов целей второго уровня.

В численных значениях (3) будет представлена следующим образом:

Таблица 8

$a$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	*	$W_k$	=	$W$
$a_1$	0,206	0,039	0,140		0,484		0,130
$a_2$	0,029	0,344	0,045		0,415		0,161
$a_3$	0,098	0,103	0,142		0,100		0,104
$a_4$	0,154	0,189	0,051		0,158		
$a_5$	0,082	0,041	0,105		0,067		
$a_6$	0,050	0,129	0,444		0,122		
$a_7$	0,381	0,156	0,072		0,257		

Согласно расчету, представленному в табл. 8, 7-я альтернатива имеет наибольший вес (0,257). Таким образом, с точки зрения заданных критериев в рамках метода МАИ выбор 7-й альтернативы – противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 – является наиболее приемлемым.

С целью проверки результатов, полученных методом Т. Саати, и снижения влияния человеческого фактора при решении сложных многофакторных задач к задаче выбора альтернативы (ПМД) применим новый метод решения.

В качестве новой концепции решения исследовательских задач в области управления организационными системами можно предложить учет человеческого фактора в форме моделей предпочтений, что позволит создать новые технологии решения ряда задач [2].

Под человеческим фактором здесь понимается влияние интуитивного субъективного выбора человека при принятии решения об эффективности той или иной технологии. Учет человеческого фактора –



решение задачи выбора с помощью построения математической модели, не прибегая к интуитивному выбору человека [3].

В последнее время, наряду с линейными свертками, большую популярность завоевывают методы, разработанные на основе построения иерархической структуры (дерева) критериев с матрицами свертки, помещаемыми на место его вершин. Такой подход позволяет обеспечивать необходимую объективность процедуры экспертного наполнения этих математических объектов и иметь возможность наблюдать за влиянием динамики отдельных факторов на итоговую оценку [2].

Для каждого типа задач разрабатывается своя методика конструирования матриц свертки с учетом принятых условий. Данную методику возможно реализовать с помощью программного комплекса «Декон», который предназначен для исследования, разработки и практического применения механизмов комплексного оценивания сложных объектов.

Программа функционирует в среде Windows 98, 2000, XP, имеет графический интерфейс и позволяет выполнять следующие функции [2]:

- разработка структуры дерева критериев (оценивания);
- выбор матриц свертки для узлов дерева оценивания;
- комплексное оценивание объекта при четких значениях частных критериев;
- комплексное оценивание объекта при нечетких значениях частных критериев;
- транзитивное замыкание для произвольной пары частных критериев.

Применительно к рассматриваемому вопросу «Декон» – это программа, предназначенная для минимизации и учета человеческого фактора при оценивании альтернативных вариантов, с помощью которой можно математически обосновать выбор, а также выявить сильные и слабые стороны каждого из них.

Разобьем процедуру выбора ПМД на этапы:

I. На первом этапе определяется цель (в нашем случае – это выбор наиболее эффективной противоморозной добавки) и характеристики, по которым будут отобраны, а затем и оценены альтернативы (цена, расход добавки и сроки схватывания).

II. На втором этапе необходимо характеристики добавок перевести в качественные частные критерии по универсальной качественной

шкале. Данный процесс предусматривает перевод количественных значений частных критериев из шкалы измерения в некоторую универсальную качественную шкалу. Это необходимо для обеспечения следующего процесса технологии – свертки нескольких частных разнородных критериев в комплексную оценку, которые в результате некоторого преобразования становятся однородными благодаря приобретаемой новой качественной шкале.

Указанное преобразование осуществляется с помощью функций приведения, связывающих между собой универсальную шкалу с разнообразными (размерными, безразмерными) шкалами частных критериев. Функции приведения по своей сути нелинейные, но в отдельных случаях поддаются линеаризации.

III. На третьем этапе (этапе субоптимизации) происходит ранжирование на основании исходных данных путем присвоения частному критерию по каждой из альтернатив значения от 1 до 4.

Структура дерева критериев существенно определяет связи модели предпочтений. Окончательная детализация связей осуществляется конструированием (установлением) матриц свертки.

Ввиду большого разнообразия матриц свертки даже для оптимальной размерности матрицы  $4 \times 4$  (общее множество матриц свертки размерностью  $4 \times 4$  равно 1236) нужно указать методику выбора (конструирования) матриц [2].

В работе использованы матрицы трех типов, представленные в табл. 9.

Приведем частные критерии к стандартной шкале комплексного оценивания.

Критерии оценки:

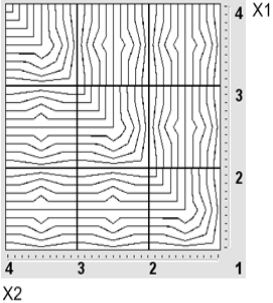
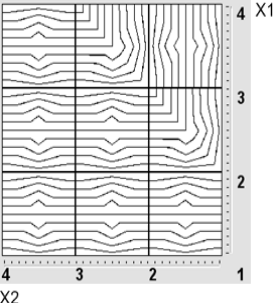
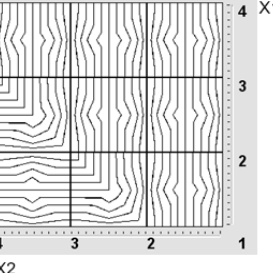
- уровень затрат (стоимость ПМД) –  $X_1$ ;
- расход ПМД (в % от массы цемента) –  $X_2$ ;
- сроки схватывания –  $X_3$ .

Построим функции приведения для каждой характеристики.

1. Уровень затрат (стоимость ПМД) –  $X_1$  – График 1.

Граничными значениями стоимости будут максимальная – 66 руб./кг и минимальная – 29 руб./кг. Стоимость – величина количественная; чем больше стоимость, тем ниже привлекательность добавки для инвестора, поэтому функция стоимости будет монотонно убывающей (рис. 2).

Типы матриц, используемых в работе

Приоритет критерия	Поддержка развития критериев (топологическое представление)
Критерии равноправны	 <p>A contour plot showing a grid of axes labeled X1 (vertical, 1 to 4) and X2 (horizontal, 1 to 4). The plot features a central vertical line of symmetry and horizontal lines of symmetry, with contour lines forming a grid-like pattern that is most dense in the center.</p>
Приоритет первого критерия	 <p>A contour plot similar to the first one, but with contour lines that are more densely packed along the X1 axis, indicating a higher sensitivity to changes in the first criterion.</p>
Приоритет второго критерия	 <p>A contour plot similar to the first one, but with contour lines that are more densely packed along the X2 axis, indicating a higher sensitivity to changes in the second criterion.</p>

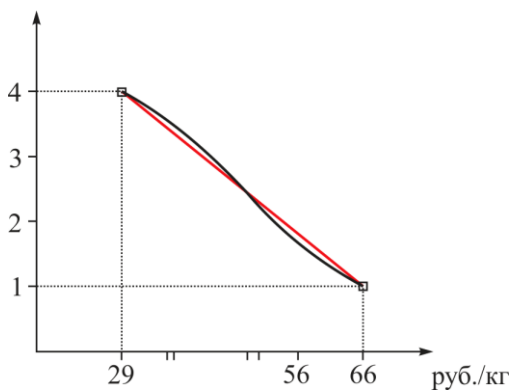


Рис. 2. Функция приведения стоимости в критериальную оценку

2. Расход ПМД (в % от массы цемента) –  $X_2$  – График 2.

По проведенному анализу установлено, что минимальный процент введения добавки – 1,5 % от массы цемента, а максимальный – 11 %. Чем больше расход добавки, тем большее количество требуется, поэтому функция стоимости будет монотонно убывающей (рис. 3).

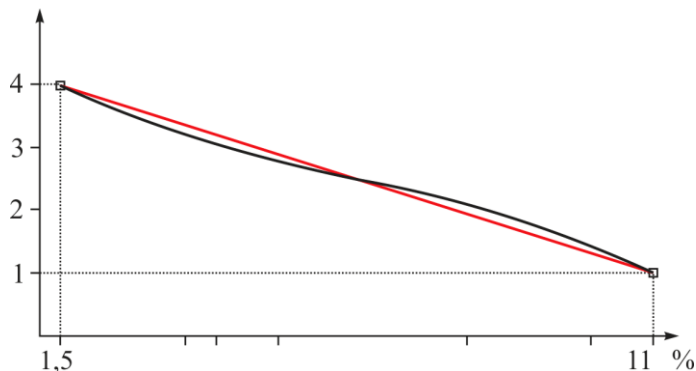


Рис. 3. Функция приведения расхода ПМД в критериальную оценку

3. Сроки схватывания –  $X_3$  – График 3.

По проведенному анализу установлено, что оптимальный срок схватывания бетона на 28-е сутки составляет около 60 %, поэтому функция приведения характеризуется наличием экстремума внутри интервала области значений (рис. 4).

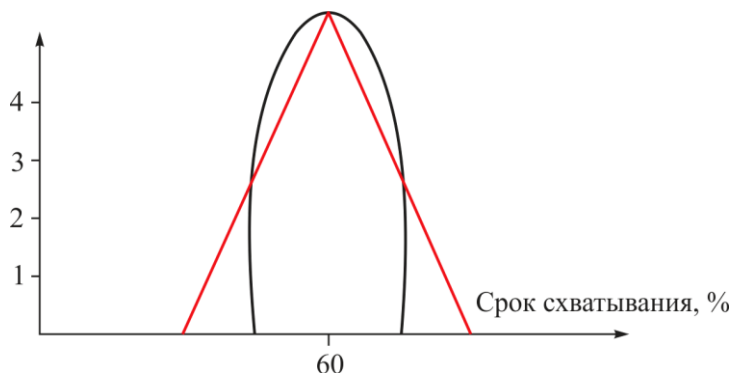


Рис. 4. Функция приведения срока схватывания в критериальную оценку

Частные критерии по каждому альтернативному варианту сведем в табл. 10.

Построим дерево критериев в общем виде.

Интерпретация сверток критериев по уровням дерева комплексного оценивания:

M1\_1 – уровень расходов.

M – уровень эффективности противоморозной добавки.

Таблица 10

Сводная таблица частных критериев

ПМД	Балл по критерию		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	Цена*, руб./кг	Процент введения добавки от массы цемента	Сроки схватывания
Нитрат кальция	3,4	1,3	3,9
Криопласт П25-1	1	4	2,3
Нитрит натрия	2,4	1,9	3,7
Плантикор	3,4	3,4	2,6
Поташ	2,3	1	4,0
Полипласт СП-1	1,8	3,2	3,7
<b>Бенотех ПМП-1</b>	4	2,9	2,6

1. Свертка M1\_1 критериев «уровень затрат» и «процент введения добавки от массы цемента» в обобщенный параметр «уровень расходов» по принципу стимулирования обоих критериев, так как оба этих критерия вносят существенный вклад при выборе ПМД.

2. Свертка M критериев «уровень расходов» и «сроки схватывания» в обобщенный параметр «уровень эффективности противоморозной добавки» по принципу стимулирования обоих критериев, так как исходя из оценок этих сверток будет выводиться комплексная оценка.

Таким образом, в общем виде дерево критериев будет иметь вид, представленный на рис. 5.

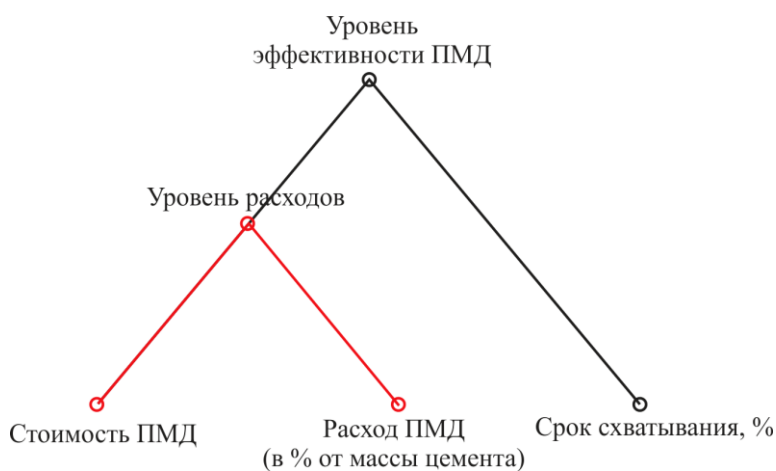


Рис. 5. Дерево критериев

Итак, в ходе построения модели решения многофакторной задачи при выборе наиболее эффективной ПМД были определены добавки, отвечающие заданным параметрам, их характеристики переведены в частные критерии и построено дерево критериев в общем виде.

Для того чтобы выявить наиболее эффективную добавку, воспользуемся программой «Декон».

Для моделирования механизма выбора наиболее эффективной противоморозной добавки применим программу «Декон». В результате получим 7 интерпретаций дерева критериев в зависимости от добавки и соответственно 7 комплексных оценок по шкале от 1 (неудовлетворительно) до 4 (отлично). Сведем полученные результаты в табл. 11.

Таблица 11

Результаты применения метода

№ п/п	Название ПМД	Дерево критериев	Комплексная оценка															
11	Нитрат кальция	<p>1.33 M</p> <p>1.33 M1_1</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>3,4</td> <td></td> <td>1,3</td> <td></td> <td>3,9</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	3,4		1,3		3,9	1,33
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
3,4		1,3		3,9														
22	Криопласт П25-1	<p>1.33 M</p> <p>1.33 M1_1</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td></td> <td>4,0</td> <td></td> <td>2,3</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	1,0		4,0		2,3	1,33
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
1,0		4,0		2,3														
33	Нитрит натрия	<p>1.83 M</p> <p>1.86 M1_1</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>2,4</td> <td></td> <td>1,9</td> <td></td> <td>3,7</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	2,4		1,9		3,7	1,83
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
2,4		1,9		3,7														

№ п/п	Название ПМД	Дерево критериев	Комплексная оценка															
44	Плантикор	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>3,4</td> <td></td> <td>3,4</td> <td></td> <td>2,6</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	3,4		3,4		2,6	2,63
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
3,4		3,4		2,6														
55	Поташ	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>2,3</td> <td></td> <td>1,0</td> <td></td> <td>4,0</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	2,3		1,0		4,0	1,53
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
2,3		1,0		4,0														
66	Полипласт СП-1	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>1,8</td> <td></td> <td>3,2</td> <td></td> <td>3,7</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	1,8		3,2		3,7	1,78
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
1,8		3,2		3,7														
77	<b>Бенотех ПМП-1</b>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td> <td>&amp;</td> <td>2</td> <td>&amp;</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>X1</td> <td></td> <td>X2</td> <td></td> <td>X3</td> </tr> <tr> <td>4,0</td> <td></td> <td>2,9</td> <td></td> <td>2,6</td> </tr> </table>	1	&	2	&	3	X1		X2		X3	4,0		2,9		2,6	2,68
1	&	2	&	3														
X1		X2		X3														
4,0		2,9		2,6														

Итак, согласно построенной модели наивысшую комплексную оценку имеет противоморозная добавка Бенотех ПМП-1 (2,68 балла). Этот результат подтвердил и метод МАИ.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Системы, составленные иерархически, т.е. посредством модульного построения и затем сборки модулей, строятся намного эффективнее, чем системы, собранные в целом.

2. Исследуемая тема может иметь развитие по следующим направлениям:

– выявление эффективных ПМД исходя из других заданных условий;

– увеличение количества целей второго уровня.

3. Сложные мультикритериальные (многофакторные) задачи можно решать двумя методами: метод МАИ Т. Саати и с помощью программного комплекса «Декон», которые объединяют в себе решение двух вопросов, связанных с организационно-технологической безопасностью и экономической эффективностью строительных проектов.

4. В качестве дальнейших исследований методов зимнего бетонирования в рамках метода применения противоморозных добавок принимаем наиболее эффективную добавку Бенотех ПМП-1, с учетом заданных критериев эффективности.

5. Для дальнейших исследований будем использовать метод МАИ, так как его прикладное использование выявило следующие преимущества: более тонкое ранжирование позволяет получить более точный результат, а также дает возможность более гибкого изменения параметров.

### **Библиографический список**

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

2. Харитонов В.А., Белых А.А. Технологии современного менеджмента. Инновационно-образовательный проект / под науч. ред. В.А. Харитонova. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 187 с.

3. Человеческий фактор в управлении / под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига, 2006. – 496 с.

4. Резниченко В.С., Зурабов Э.Г. Оценка экономической эффективности инвестиций в строительство // Экономика строительства. – 2001. – № 12. – С. 37–44.

5. Кашеварова Г.Г., Пермякова Т.Б. Численные методы решения задач строительства на ЭВМ: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 352 с.



## References

1. Saati T. Priniatie reshenii. Metod analiza ierarkhii [Method of the analysis of hierarchies]. Moscow: Radio i sviaz', 1989, 316 p.
2. Kharitonov V.A., Belykh A.A. Tekhnologii sovremennogo menedzhmenta. Innovatsionno - obrazovatel'nyi proekt [Technologies of modern management. The is innovative-educational project]. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007, 187 p.
3. Abramova N.A., Ginsberg K.S., Novikov D.A. Chelovecheskii faktor v upravlenii [The human factor in management]. Moscow: KomKniga, 2006, 496 p.
4. Reznichenko V.S., Zurabov E.G. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti investitsii v stroitel'stvo [Estimation of economic efficiency of investments into building]. *Ekonomika stroitel'stva*, 2001, no. 12, pp. 37–44.
5. Kashevarova G.G., Permiakova T.B. Chislennye metody resheniia zadach stroitel'stva na EVM [Numerical methods of the decision of problems of building on the PC]. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007, 352 p.

**Yu.S. Loginova, O.V. Petreneva**

## TWO METHODS OF SOLUTION OF MULTICRITERIA PROBLEM IN CONSTRUCTION

Construction industry is characterized by knowledge-intensive, labor-intensive, high cost of construction projects. Also construction industry is dependent on time-consuming, and as a consequence of the construction process, all participants are interested in reducing investments and reduce the time of construction. Namely, the problem of determining the effectiveness of organizational and technological variant of winter concreting designs. On the basis research presented a comparison of the two solutions to multi-criteria problems in choosing alternatives in construction projects. Using economic methods justify the selection of the alternatives will improve the quality of projects, reduce financial costs and consequently reduce the construction time. One method is based on processing matrix array – analytic hierarchy process (systematic analysis of hierarchical structures). The method involves the use of the eigenvector as a priority vector. The second method can be implemented by a software system «Dekon» which is intended for research, development and application of tools for integrated assessment of complex objects. «Dekon» – a program designed to minimize and human factors in estimating alternatives with which you can mathematically prove the choice, as well as to identify the strengths and weaknesses of each. Presented by the practical application of methods for solving problems under uncertainty example, select one of the technologies concreting in winter time – use antifreeze additives. Basic idea of this method is formed. Concluded about effectiveness and application this method for solving difficult problems, when determining the cost-effectiveness main variation in building projects.

**Keywords:** assessment, hierarchy, criteria, convolution matrix, alternative, effectiveness, investment, construction technology.

### **Сведения об авторах**

**Логинова Юлия Сергеевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Петренива Ольга Владимировна** (Пермь, Россия) – доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

### **About the authors**

**Loginova Yuliya Sergeevna** (Perm, Russia) – Graduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Petrenyeva Olga Vladimirovna** (Perm, Russia) – Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Получено 25.12.2013