

УДК 69:65.46

Л.С. БАРИНОВА, канд. хим. наук, заместитель председателя Комитета по предпринимательству в сфере строительства и ЖКХ Торгово-промышленной палаты РФ (Москва)

Критерии оценки эффективности применения строительных материалов

В настоящее время ассортимент строительных материалов (СМ) стремительно расширяется. Поэтому важной научной задачей становится их сравнение доступными и одновременно научно обоснованными всесторонними методами. Применительно к СМ в условиях конкурентной среды под критерием эффективности следует понимать систему показателей, которые позволяют сопоставлять характеристики различных типов СМ, осуществлять выбор оптимальной области применения СМ (новое строительство, реконструкция и капитальный ремонт, строительство в чрезвычайных ситуациях) и разработку оптимальных планов использования СМ в конкретных ситуациях. Выбор критериев эффективности необходимо осуществлять на основе концепции эффективного строительства и функционирования зданий.

Для оценки эффективности СМ целесообразно использовать концепцию комплексной оценки, охватывающей весь жизненный цикл: изготовление, транспортировка, монтаж, эксплуатация, демонтаж и утилизация.

Комплексная оценка эффективности применения СМ предусматривает на высшем уровне иерархии системы критериев использование интегрального критерия (I_k), который является функцией обобщенных критериев O_k .

$$I_k = F^I(O_{1k} \dots O_{6k}), \quad (1)$$

где I_k – интегральный критерий оценки строительства K -го типа СМ; $O_{1k}, O_{2k}, O_{3k}, O_{4k}, O_{5k}, O_{6k}$ – обобщенные

критерии оценки эффективности соответственно циклов изготовления, транспортировки, монтажа, эксплуатации, демонтажа и утилизации K -го типа СМ.

В свою очередь, обобщенные критерии являются функциями основных критериев (F^{II}), которые имеют вид:

$$O_{ij} = F^{II}(O_{s1} \dots O_{sj}), \quad (2)$$

где O_{sj} – основные критерии; j – количество основных критериев.

Основные критерии являются функциями дифференциальных критериев d_n

$$O_{sj} = F^{III}(d_1 \dots d_n), \quad (3)$$

где d_n – дифференциальные, неделимые более критерии; n – количество дифференциальных критериев.

На основе вышеизложенного предлагается система критериев оценки эффективности СМ, представленная на рис. 1.

В качестве основных критериев приняты следующие системообразующие характеристики:

O_{11} – стоимость при изготовлении; O_{12} – продолжительность изготовления; O_{13} – качество изготовления;

O_{21} – стоимость при транспортировке; O_{22} – продолжительность транспортировки; O_{23} – сохранение качества при транспортировке;

O_{31} – стоимость при монтаже; O_{32} – продолжительность монтажа; O_{33} – качество монтажа;

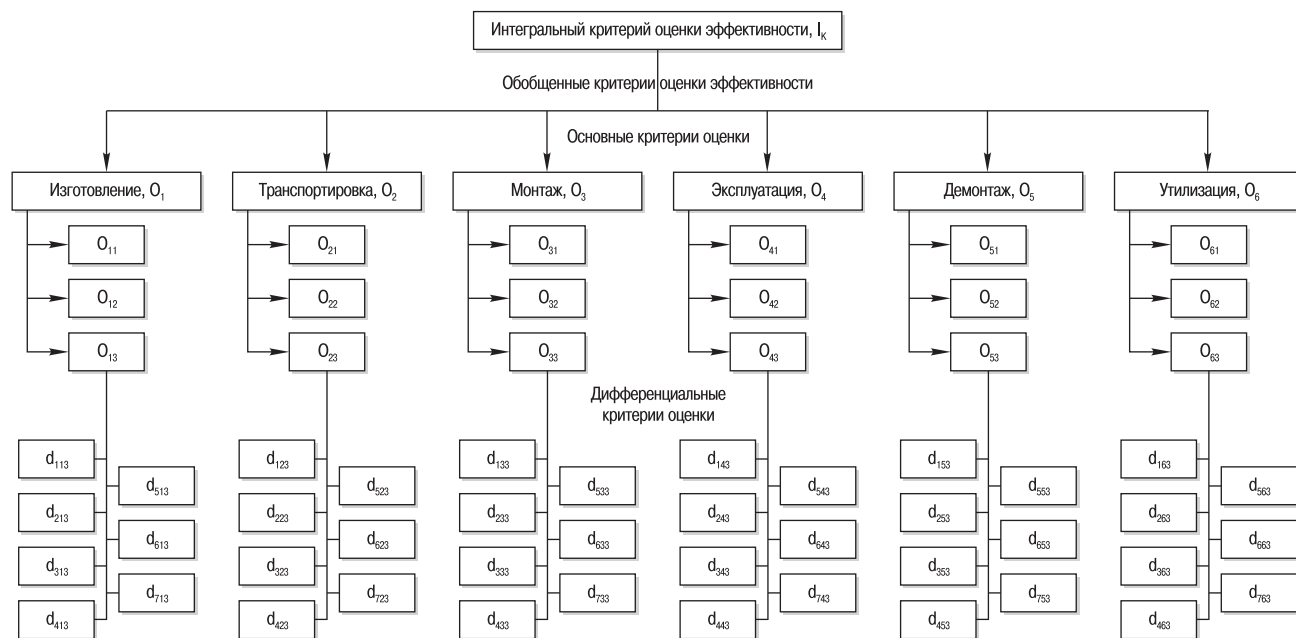


Рис. 1. Система критериев оценки эффективности применения строительных материалов в конкурентной среде



Рис. 2. Схема взаимосвязи этапов экспертной оценки коэффициентов весомости критериев эффективности применения СМ

O_{41} – стоимость при эксплуатации; O_{42} – продолжительность эксплуатации; O_{43} – качество работ при эксплуатации;

O_{51} – стоимость работ при демонтаже; O_{52} – продолжительность демонтажа; O_{53} – качество работ при демонтаже;

O_{61} – стоимость утилизации; O_{62} – продолжительность утилизации; O_{63} – качество работ при утилизации.

В качестве дифференциальных критериев приняты:

$d_{113}, d_{123}, d_{133}, d_{143}, d_{153}, d_{163}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от технологичности на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{213}, d_{223}, d_{233}, d_{243}, d_{253}, d_{263}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от функциональности на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{313}, d_{323}, d_{333}, d_{343}, d_{353}, d_{363}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от эстетичности на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{413}, d_{423}, d_{433}, d_{443}, d_{453}, d_{463}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от прочности на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{513}, d_{523}, d_{533}, d_{543}, d_{553}, d_{563}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от долговечности СМ на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{613}, d_{623}, d_{633}, d_{643}, d_{653}, d_{663}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от безопасности СМ на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

$d_{713}, d_{723}, d_{733}, d_{743}, d_{753}, d_{763}$ – дифференциальные критерии оценки качества в зависимости от надежности СМ на циклах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Следует отметить, что в предложенной системе критериев находятся 78 показателей в трех уровнях иерархии. В связи с этим важной задачей является выявление научно обоснованным методом значимости влияния каждого из них на конечный результат – интегральный критерий I_k .

Оценка эффективности применения СМ по интегральному критерию должна проводиться в обобщенных показателях. В то же время основные и дифференциальные критерии имеют различные единицы измерения (стоимостные, временные, относительные). Одновременно необходимо учитывать значимость (важность) каждого основного и дифференциального критерия в

изменении показателей интегрального критерия. На него будут влиять также значимость (весомость) обобщенных показателей.

Для учета значимости (важности) этих критериев на основе методов квалиметрии введены коэффициенты весомости:

K_{bi} – коэффициенты весомости обобщенных критериев оценки эффективности: $i = 1$ – изготовления, 2 – транспортировки, 3 – монтажа, 4 – эксплуатации, 5 – демонтажа, 6 – утилизации;

K_{bji} – коэффициенты весомости основных критериев оценки j типа в i обобщенном критерии;

K_{bsji} – коэффициенты весомости дифференциального критерия s вида j в основном критерии, входящие в i -й обобщенный критерий.

Для учета значимости O_i, O_{ji}, d_{sji} необходимо, чтобы выполнялись условия:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq K_{bi} &\leq 1 \\ 0 \leq K_{bji} &\leq 1 \\ 0 \leq K_{bsji} &\leq 1 \end{aligned} \right\} (4)$$

Тогда I_k можно рассчитать по формуле:

$$I_k = \sum_{i=1}^6 K_{bi} \mathcal{E}_{ik}, (5)$$

где \mathcal{E}_{ik} – показатели условной эффективности обобщенных критериев оценки для K -го типа СМ; значения \mathcal{E}_{ik} должны находиться в пределах от 0 до 1.

Определение \mathcal{E}_{ik} предлагается проводить по формуле:

$$\mathcal{E}_{ik} = \sum_{i=1}^3 K_{bji} \mathcal{E}_{jik}, (6)$$

где \mathcal{E}_{jik} – показатель условной эффективности j -го основного критерия оценки в i -м обобщенном критерии K -го типа СМ. Значения \mathcal{E}_{jik} должны находиться в пределах от 0 до 1.

Введем следующие обозначения: $K_{bi31}, K_{bi32}, K_{bi33}, K_{bi34}, K_{bi35}, K_{bi36}, K_{bi37}$ – коэффициенты весомости дифференциального критерия оценки качества в зависимости от технологичности, функциональности, эстетичности, прочности, долговечности, безопасности, надежности в i -м обобщенном критерии.

Тогда, например, \mathcal{E}_{13k} определится по формуле:

$$\mathcal{E}_{13k} = K_{bi31} \mathcal{E}_{i31k} + K_{bi32} \mathcal{E}_{i32k} + K_{bi33} \mathcal{E}_{i33k} + K_{bi34} \mathcal{E}_{i34k} + K_{bi35} \mathcal{E}_{i35k} + K_{bi36} \mathcal{E}_{i36k} + K_{bi37} \mathcal{E}_{i37k}. (7)$$

Значения \mathcal{E}_{ik} определяются на основе экспертных оценок и методов искусственного интеллекта. Получены формулы, по которым вычисляются численные значения показателей условной эффективности:

- оценки технологичности:

$$\mathcal{E}_{i31k} = \begin{cases} 1, & \text{если } \begin{cases} \gamma_{MM3}^{\Phi} \in \gamma_{MM}^{ec} \\ \gamma_{KM3}^{\Phi} \in \gamma_{MK}^{ec} \\ \gamma_{СП3}^{\Phi} \in \gamma_{СП}^{ec} \end{cases} \\ 0,7 & \text{если } \begin{cases} \gamma_{MM3}^{\Phi} \in \gamma_{MM}^{oc} \\ \gamma_{KM3}^{\Phi} \in \gamma_{MK}^{oc} \\ \gamma_{СП3}^{\Phi} \in \gamma_{СП}^{oc} \end{cases} \\ 0,4 & \text{если } \begin{cases} \gamma_{MM3}^{\Phi} \in \gamma_{MM}^{pc} \\ \gamma_{KM3}^{\Phi} \in \gamma_{MK}^{pc} \\ \gamma_{СП3}^{\Phi} \in \gamma_{СП}^{pc} \end{cases} \end{cases}, (8)$$

где $\gamma_{MM3}^{\Phi}, \gamma_{KM3}^{\Phi}, \gamma_{СП3}^{\Phi}$ – множество характеристик для фактически используемых машин и механизмов, конструкций, ма-

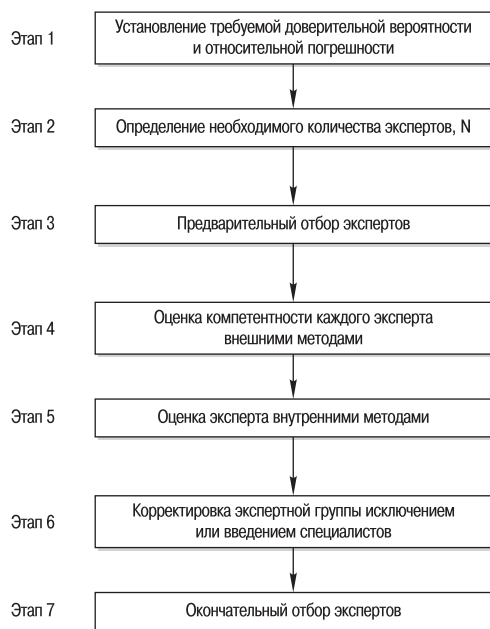


Рис. 3. Методика отбора экспертов для оценки коэффициентов весовости критериев эффективности применения СМ

териалов и способов производства работ K -го типа СМ; $\gamma_{MM}^{ec}, \gamma_{MM}^{oc}, \gamma_{MK}^{ec}, \gamma_{MK}^{oc}, \gamma_{MK}^{pc}, \gamma_{MK}^{oc}, \gamma_{sp}^{ec}, \gamma_{sp}^{oc}, \gamma_{sp}^{pc}$ – множество характеристик машин и механизмов, материалов и конструкций, способов производства работ, обеспечивающих при выбранной технологии качество работ на уровне европейских, общероссийских и региональных стандартов;

- оценки функциональности:

$$\mathcal{A}_{i32k} = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_{\phi k} \in Y_{\phi}^{ec} \\ 0,7, & \text{если } Y_{\phi k} \in Y_{\phi}^{oc} \\ 0,2, & \text{если } Y_{\phi k} \in Y_{\phi}^{pc} \end{cases}, \quad (9)$$

где $Y_{\phi k}$ – уровень функциональности K -го типа СМ; $Y_{\phi}^{ec}, Y_{\phi}^{oc}, Y_{\phi}^{pc}$ – уровни (нормы) функциональности, соответствующие европейским, общероссийскому и региональным стандартам оценки эстетичности;

- оценки эстетичности:

$$\mathcal{A}_{i33k} = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_{\text{эк}} \in Y_{\text{э}}^{ec} \\ 0,7, & \text{если } Y_{\text{эк}} \in Y_{\text{э}}^{oc} \\ 0,2, & \text{если } Y_{\text{эк}} \in Y_{\text{э}}^{pc} \end{cases}, \quad (10)$$

где $Y_{\text{эк}}$ – уровень эстетичности K -го типа СМ; $Y_{\text{э}}^{ec}, Y_{\text{э}}^{oc}, Y_{\text{э}}^{pc}$ – уровни (нормы) эстетичности, соответствующие европейским, общероссийскому и региональным стандартам оценки эстетичности;

- оценки прочности:

$$\mathcal{A}_{i34k} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Pi_k = \Pi, \text{ где } \Pi = \max \Pi_k \\ \frac{\Pi_k}{\Pi}, & \text{если } \Pi_k < \Pi \end{cases}, \quad (11)$$

где Π_k – показатель прочности K -го типа СМ;

- оценки долговечности:

$$\mathcal{A}_{i35k} = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathcal{J}_k = \mathcal{J}, \text{ где } \mathcal{J} = \max \mathcal{J}_k \\ \frac{\mathcal{J}_k}{\mathcal{J}}, & \text{если } \mathcal{J}_k < \mathcal{J} \end{cases}, \quad (12)$$

где \mathcal{J}_k – показатель долговечности K -го типа СМ;

- оценки безопасности:

$$\mathcal{A}_{i36k} = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_{\text{ск}} = Y, \text{ где } Y = \max Y_{\text{ск}} \\ \frac{Y_{\text{ск}}}{Y}, & \text{если } Y_{\text{ск}} < Y \end{cases}, \quad (13)$$

где $Y_{\text{ск}}$ – показатель безопасности K -го типа СМ;

- оценки надежности:

$$\mathcal{A}_{i37k} = \begin{cases} 1, & \text{если } N_{\text{ук}} \in N_y^{ec} \\ 0,7, & \text{если } N_{\text{ук}} \in N_y^{oc} \\ 0,5, & \text{если } N_{\text{ук}} \in N_y^{pc} \end{cases}, \quad (14)$$

где $N_{\text{ук}}$ – уровень надежности K -го типа СМ; $N_y^{ec}, N_y^{oc}, N_y^{pc}$ – уровни (нормы) надежности, соответствующие европейским, общероссийскому и региональным стандартам.

Определение основного критерия оценки стоимости в относительных единицах проводится по формуле:

$$O_{1ik} = K_{bik} \mathcal{A}_{epik}, \quad (15)$$

где \mathcal{A}_{epik} – условная эффективность основного критерия по стоимости в относительных единицах на i -м цикле K -го типа СМ.

Значение \mathcal{A}_{1ik} определяется по соотношению

$$\mathcal{A}_{1ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } C_{ik} = C, \text{ где } C = \min C_{ik} \\ \frac{C}{C_k}, & \text{если } C_{ik} > C \end{cases}. \quad (16)$$

Аналогичным образом рассчитывается основной критерий продолжительности:

$$O_{2ik} = K_{b2ik} \mathcal{A}_{2ik}, \quad (17)$$

где \mathcal{A}_{2ik} – условная эффективность основного критерия по продолжительности в относительных единицах на i -м цикле K -го типа СМ при сравнении с другими вариантами.

\mathcal{A}_{2ik} рассчитывается по выражению:

$$\mathcal{A}_{2ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } T_k = T, \text{ где } T = \min T_k \\ \frac{T}{T_k}, & \text{если } T_k > T \end{cases}. \quad (18)$$

Как видно из приведенных математических зависимостей, основными параметрами являются коэффициенты весовости дифференциальных и основных критериев оценки эффективности применения различных типов СМ.

Под методом вычислений по определению коэффициентов весовости критериев будем понимать комплекс взаимосвязанных мероприятий, определяющих цель работы, условия и способы ее проведения, обеспечение процесса экспертного оценивания, права и обязанности привлекаемых лиц, процедур определения численных значений.

Анализ особенностей СМ как объекта исследований показывает, что можно выделить следующие восемь этапов реализации метода определения коэффициентов весовости.

Первый этап – формирование цели и задач оценки, группы управления. *Второй этап* – разработка анкет экспертного опроса и формирование экспертных групп. *Третий этап* – опрос экспертов, обработка и анализ результатов экспертизы. *Четвертый этап* – построение гистограмм распределения значений коэффициентов весовости критериев оценки по группам. *Пятый этап* – анализ законов распределения на основе гистограмм распределения значений коэффициентов весовости. *Шестой этап* – расчет оценок коэффициентов весовости в соответствии с правилами статистически устойчивой (робастной) оценки. *Седьмой этап* – расчет значений коэффициентов весовости критериев в от-

Оценки экспертов в баллах

Занимаемая должность	Специалист без ученой степени	Кандидат наук или доцент	Доктор наук или профессор	Академик или член-корреспондент
Инженер, прораб	1	1,5	2	3
Младший научный сотрудник, ассистент	1,5	2	2,5	3,5
Старший научный сотрудник, доцент, ведущий специалист	2	3	4	5
Начальник лаборатории, главный специалист	3	4	5	6
Начальник отдела, заведующий кафедрой, профессор кафедры	3,5	4,5	6	8
Начальник управления, факультета, руководитель проектной, строительной организации	4	5	7	9
Директор предприятия, ректор и их заместители, в т. ч. главный инженер	5	6	8	10

носительных единицах. *Восьмой этап* – интерпретация полученных результатов.

Рассмотрим принятые этапы более подробно.

От первого этапа зависит надежность получаемого результата и его прагматическая ценность. При этом должны быть учтены следующие факторы, влияющие на эффективность СМ: надежность и полнота исходной информации по всем типам СМ; требуемая форма представления результатов (количественная); возможные области использования полученной информации; сроки представления; возможность привлечения в экспертную группу специалистов требуемого уровня.

На группу управления возлагается не только вся организационно-плановая работа по обеспечению эффективной творческой деятельности экспертов, но и аналитическая работа по подбору экспертной группы, определению методов получения и обработки информации, составлению анкет опросов. Для решения этих задач необходимы знания как в области рассматриваемой научной задачи о СМ, так и в других областях – математики, психологии и социологии.

Второй этап связан с разработкой такого средства сбора информации, как опросных листов – анкет.

По целевому назначению следует применять анкеты двух типов: анкеты-справки, содержащие данные о профессиональной подготовке эксперта, и анкеты-опросники по существу вопросов исследования. Схема взаимосвязи этапов экспертного оценивания приведена автором на рис. 2.

При этом экспертам сообщают оценки по первому туру, а тех экспертов, чьи оценки оказались в крайних квартилях, просят представить обоснованные аргументы в пользу своих суждений. Подобные аргументы представляются анонимно и с ними знакомят остальных экспертов. Это позволяет всем экспертам учесть те новые обстоятельства, которые они по какой-либо причине пропустили. В результате этого эксперты могут пересмотреть свои оценки.

Скорректированная информация вновь поступает в группу управления экспертизы, реализуя обратную связь (рис. 2). Если же и после второго тура обработка полученных оценок выявит недостаточную согласованность мнений экспертов, возможно проведение третьего и последующих циклов экспертизы.

Таким образом, достигается регулируемая обратная связь, которая компенсирует недостаточность первоначальной информации и повышает надежность получаемых итоговых (многотуровых) оценок.

Таблица 2

Оценки коэффициента аргументации эксперта

Источники аргументации	Степень влияния источника на мнение		
	В (высокая)	С (средняя)	Н (низкая)
Теоретический анализ	0,3	0,2	0,1
Практический опыт	0,5	0,4	0,2
Обобщение отечественных публикаций	0,05	0,05	0,05
Обобщение зарубежных публикаций	0,05	0,05	0,05
Интуиция	0,05	0,05	0,05

Четвертый этап основан на построении специальных гистограмм распределения. С этой целью выполняются следующие расчеты.

По матрице оценок экспертов рассчитывается сумма рангов по каждому критерию S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}, \quad (19)$$

где n – число критериев, подлежащих ранжированию; m – число экспертов; r_{ij} – ранг, присвоенный i -му критерию j -м экспертом.

Далее определяется средняя сумма рангов S_r :

$$\bar{S}_r = \frac{S_r}{n}. \quad (20)$$

Устанавливается отклонение суммы рангов от ее средней величины δ_i :

$$\delta_i = S_r - \bar{S}_r. \quad (21)$$

Рассчитывается коэффициент согласованности мнений экспертов – коэффициент Кендалла W :

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i^2}{\left[\left(\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j \right) \right]}, \quad (22)$$

где

$$T_j = \frac{1}{12} \sum (t_j^3 - t_j);$$

t_j – число одинаковых рангов в j -м ряду.

Выполняется оценка значимости статистики W по χ^2 – распределению с числом степеней свободы $f = n - 1$.

В настоящем исследовании с учетом специфики СМ принимаем при расчетах $\alpha = 0,05$.

В этом случае гипотеза о равенстве статистики W нулю отвергается, если выполняется неравенство:

$$W \geq \chi_{таб}^2(\alpha, f), \quad (23)$$

где $\chi_{таб}^2(\alpha, f)$ – табличное значение квантиля χ^2 – распределения при числе степеней свободы f и уровне значимости α .

При этом можно утверждать, что существует неслучайная согласованность во мнениях экспертов и можно строить гистограмму распределения.

Для перехода к нормированной числовой шкале необходимо выполнить переход от рангов к весовым коэффициентам:

$$w_i = R_i / \sum R_i \quad (24)$$

и найти статистически устойчивые оценки центра распределения.

Таким образом, на седьмом этапе экспертизы выявляются научно обоснованные итоговые оценки для коэффициентов весомости.

Последний этап интерпретации необходим для организации обратной связи. Он проводится методом Дельфи.

Методика отбора экспертов является важной процедурой всего процесса экспертного оценивания.

На основе существующих научных рекомендаций с учетом выявленных особенностей СМ разработана специальная методика, приведенная на рис. 3. Рассмотрим ее особенности. Так, на первом этапе установлена требуемая достоверная вероятность при $t_{0,9} = 1,96$ и относительная погрешность $\epsilon = 0,5$. В связи с этим по таблицам по критерию Стьюдента определена необходимая численность экспертов – 20 человек. Далее проводится предварительный отбор экспертов. Он осуществляется на основе уже известной информации о профессиональной деятельности кандидатов – должности, ученых степеней и званий, стажа практической работы в области СМ, числа публикаций, участия в других экспертизах. При этом кандидат в экспертную группу должен иметь широкий общий кругозор и эрудицию.

Сама группа не должна состоять из представителей одной узкой специальности, чтобы исключить влияние ведомственных интересов на цели экспертизы. Учитывая конкурентную среду, в эксперты не должны входить представители конкурирующих организаций. Поэтому

принимаются специалисты высших учебных заведений, научно-исследовательских подразделений, строительномонтажных организаций по специальностям, строители, экономисты, управленческие работники и финансисты.

Так как ранее было принято решение об использовании «открытых» вопросов и возможности многотуровой экспертизы, то состав группы экспертов должен быть однородным, чтобы исключить «давление авторитетом»; первоначально разработанный список кандидатов подвергается дальнейшему анализу для оценки компетентности экспертов. В первую очередь оценка компетентности проводилась внешними методами. Для этого использованы существующие способы балльных оценок.

В качестве базовой принимается шкала, приведенная в табл. 1. Она скорректирована автором с учетом современных требований конкурентной среды.

Принятая шкала позволяет предварительно ранжировать отобранных кандидатов по их компетентности.

Во вторую очередь используется методика самооценки, по которой компетентность оценивается коэффициентом K_k :

$$K_k = 0,5(K_u + K_a), \quad (25)$$

где K_u – коэффициент информативности эксперта по проблеме СМ; K_a – коэффициент аргументации своих мнений по СМ.

Коэффициент K_u получают на основе самооценки эксперта по десятибалльной шкале:

$$K_u = 0,1X_u, \quad (26)$$

где X_u – балл, выставленный экспертом.

Значение коэффициента K_a определяется по тестовой табл. 2. При этом эксперту предъявляется данная таблица без цифр, в которой он отмечает, какой источник им оценивается по соответствующим градациям: В, С, Н. После этого отметки переводятся в шкалу эталонной табл. 2 и вычисляется K_a путем суммирования цифр, соответствующих позициям таблицы отмеченным экспертом.

Таким образом, по результатам оценки компетентности экспертов возможна корректировка группы и окончательный отбор специалистов. Использование предложенной методики обеспечивает более высокую надежность экспертизы, чем простое интуитивное назначение экспертов.

Предложенный подход позволяет повысить обоснованность применения строительных материалов, особенно новых и импортных.