

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 629.113

О.В. Воронков, В.И. Песков

КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛА ПО РЕАЛЬНОЙ МАССЕ И МЕТОДИКА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

На начальном этапе проектирования кузовной конструкции колесного транспортного средства одним из важных аспектов является выбор конструкционных материалов. Для тонкостенных деталей существенной особенностью, влияющей на весовую и стоимостную эффективность, является дискретность толщин листового материала, из которого они изготавливаются. Спрогнозировать эффект от замены базового материала на новый с учетом указанной особенности позволяют ранее разработанные авторами коэффициенты эффективности и методика [1, 2]. В развитие упомянутой методики в данной работе на основе методов теории вероятностей вводятся новые зависимости для коэффициента эффективности и вспомогательных величин, позволяющие сделать более точный и достоверный прогноз и определить его вероятностные характеристики. Также предлагается новая методика, дополняющая существующую, для применения выведенных зависимостей. Отличительной особенностью разработанной методики является возможность выявления увеличенного количества допустимых вариантов материалов на замену базовому за счет учета тех материалов, которые могут обеспечить заданные показатели с вероятностью ниже доверительной.

Ключевые слова: эффективность материала, дискретность толщин листов, вероятность, методика выбора, проектирование.

На этапе проектирования перспективной кузовной конструкции колесного транспортного средства часто ставится задача оценки эффективности применения нового материала для тонкостенной детали по её реальной массе, например, обшивки трехслойной панели с ребристым средним слоем основания автобусного кузова. При этом проектируемая конструкция создается на основе некоторой базовой, которая была оптимизирована по геометрическим параметрам. Ограничивающий фактор для уменьшения размеров как базовой, так и проектируемой детали одинаков: прочность или жесткость при одной и той же нагрузочной ситуации. Важным аспектом, влияющим на эффективность, в таком случае является дискретность возможных значений толщин листов, как из базового, так и из нового материала, в силу наличия только некоторого стандартного ряда толщин.

В работах [1, 2] при выводе формулы для оценки эффективности материала по массе использовалась величина $m = \Delta s / s$:

$$K_M = M_{P1} / M_{P2} = (M_1 + \Delta M_1) / (M_2 + \Delta M_2) = (1 + m_1) / (1 / K_{П(Ж)} + m_1 / K_{ШТ}), \quad (1)$$

где K_M – коэффициент эффективности материала по массе; M_P – масса детали реальная; M – масса детали теоретическая; ΔM – отклонение реальной массы детали от теоретической из-за дискретности толщин листов; m – относительное отклонение массы детали; s – целевая (оптимальная) толщина листа материала; Δs – отклонение действительной (стандартной) толщины листа от целевой; $K_{П(Ж)}$ – коэффициент эффективности материала по

прочности (жесткости) при рассматриваемой нагрузочной ситуации [1, 2]; K_{III} – коэффициент эффективности материала по шагу толщин листов [1, 2]; здесь и далее по тексту индекс 1 означает принадлежность характеристики к базовой конструкции, индекс 2 – к проектируемой конструкции.

Следует отметить, что входящий в зависимость (1) коэффициент $K_{II(Ж)}$ может принимать различный вид в зависимости: а) от вида нагрузки, характера ее приложения и распределения; б) граничных условий (закрепления); в) природы рассматриваемых материалов и их специфических свойств; г) прочих особенностей. В работах [1, 2] приведены формулы для вычисления данного коэффициента в простейших ситуациях. Предлагаемые в данной статье зависимости и методика в принципе позволяют использовать данный коэффициент в любой другой форме записи в зависимости от конкретной ситуации.

При теоретическом анализе в [1, 2] было принято $\Delta s = \delta s / 2$, где δs – шаг стандартных толщин листов в окрестности целевого значения. При такой подстановке рассматривается ситуация, подразумевающая наихудший случай с позиций отклонения от оптимального решения одновременно и для базовой, и для проектируемой деталей, что создает определенную подмену понятий, как отмечено в [1], и снижает достоверность и точность прогноза при помощи коэффициента K_M .

В действительности Δs – это случайная величина, которая равновероятно может принимать любое значение в интервале $[0; \delta s / 2]$, так как если она превышает верхнюю границу указанного интервала, то при оптимизации будет выбрано другое (более близкое к целевому) значение стандартной толщины листа.

$$\varphi_{\Delta s} = 2 / \delta s \text{ при } \Delta s \in [0; \delta s / 2]; \varphi_{\Delta s} = 0 \text{ при } \Delta s \notin [0; \delta s / 2], \quad (2)$$

где φ – плотность распределения вероятности; буквенный нижний индекс здесь и далее по тексту означает принадлежность соответствующей случайной величине.

Коэффициент K_M также является случайной величиной, так как в зависимость (1) для его определения входит случайная величина Δs . С позиций прогнозирования массовой эффективности применения нового материала интерес представляют величины $\mu(K_M)$ и $\sigma(K_M)$, где μ – математическое ожидание; σ – среднеквадратичное отклонение. При этом, учитывая новый подход, исключая допущенную ранее подмену понятий (т.е. избегающий использования коэффициента K_{III}), целесообразно пересмотреть выражение для определения K_M :

$$K_{MP} = \frac{M_{P1}}{M_{P2}} = \frac{M_1 + \Delta M_1}{M_2 + \Delta M_2} = \frac{1 + \Delta M_1 / M_1}{M_2 / M_1 + \Delta M_2 / M_1} = \frac{1 + \Delta s_1 / s_1}{1 / K_{II(Ж)} + (\rho_2 / \rho_1) \cdot (\Delta s_2 / s_1)}, \quad (3)$$

где K_{MP} – коэффициент эффективности по реальной массе (K_M в новой форме записи); ρ – плотность; $\rho_1 / \rho_2 = \chi$ [1]; Δs_1 и Δs_2 – независимые случайные величины.

По зависимости (3) можно определить минимальное и максимальные возможные значения K_{MP} , которые возникают при следующих сочетаниях Δs_1 и Δs_2 : минимум при $\Delta s_1 = 0$, $\Delta s_2 = \delta s_2 / 2$; максимум при $\Delta s_1 = \delta s_1 / 2$, $\Delta s_2 = 0$, тогда:

$$K_{MP}^{\min} = 1 / (1 / K_{II(Ж)} + \delta s_2 / (2 \cdot s_1 \cdot \chi)), \quad K_{MP}^{\max} = (1 + \delta s_1 / (2 \cdot s_1)) \cdot K_{II(Ж)}. \quad (4)$$

Обозначим Δs_1 через x , а Δs_2 через y , тогда для K_{MP} можно записать:

$$\mu(K_{MP}) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_{MP}(x, y) \cdot \varphi_{xy} \cdot dx \cdot dy, \quad (5)$$

где $\varphi_{xy} = \varphi_x \cdot \varphi_y = 4 / (\delta s_1 \cdot \delta s_2)$.

Тогда после подстановки математической зависимости (3) в (5) получаем развернутое выражение для $\mu(K_{MP})$:

$$\begin{aligned} \mu(K_{MP}) &= \frac{4}{\delta s_1 \cdot \delta s_2} \cdot \int_0^{\delta s_1/2} \left(1 + \frac{x}{s_1}\right) \cdot dx \cdot \int_0^{\delta s_2/2} \frac{dy}{1/K_{П(Ж)} + y/(\chi \cdot s_1)} = \\ &= \frac{4\chi \cdot s_1}{\delta s_1 \cdot \delta s_2} \cdot \left[x + \frac{x^2}{2s_1} \right]_0^{\delta s_1/2} \cdot \ln \left| \frac{1}{K_{П(Ж)}} + \frac{y}{\chi \cdot s_1} \right|_0^{\delta s_2/2} = \chi \cdot \left(\frac{2s_1}{\delta s_2} + \frac{\delta s_1}{2\delta s_2} \right) \cdot \ln \left| 1 + \frac{K_{П(Ж)} \cdot \delta s_2}{2\chi \cdot s_1} \right|. \end{aligned} \quad (6)$$

По известному соотношению [3]:

$$\sigma^2(K_{MP}) = \mu(K_{MP}^2) - \mu^2(K_{MP}), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu(K_{MP}^2) &= \frac{4}{\delta s_1 \cdot \delta s_2} \cdot \int_0^{\delta s_1/2} \left(1 + \frac{x}{s_1}\right)^2 \cdot dx \cdot \int_0^{\delta s_2/2} \frac{dy}{(1/K_{П(Ж)} + y/(\chi \cdot s_1))^2} = \\ &= \frac{4}{\delta s_1 \cdot \delta s_2} \cdot s_1 \cdot \left[\frac{(1 + x/s_1)^3}{3} \right]_0^{\delta s_1/2} \cdot \chi \cdot s_1 \cdot \left[\frac{-1}{1/K_{П(Ж)} + y/(\chi \cdot s_1)} \right]_0^{\delta s_2/2} = \\ &= \frac{4}{3} \cdot \frac{\chi \cdot s_1^2}{\delta s_1 \cdot \delta s_2} \cdot \left(\frac{3\delta s_1}{2s_1} + \frac{\delta s_1^2}{4s_1^2} + \frac{\delta s_1^3}{8s_1^3} \right) \cdot \frac{K_{П(Ж)}^2 \cdot \delta s_2}{2\chi \cdot s_1 + K_{П(Ж)} \cdot \delta s_2} = \\ &= \frac{\chi \cdot K_{П(Ж)}^2}{6} \cdot \frac{12s_1 + 6\delta s_1 + \delta s_1^2/s_1}{2\chi \cdot s_1 + K_{П(Ж)} \cdot \delta s_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда выражение (7) превращается в

$$\sigma^2(K_{MP}) = \frac{\chi \cdot K_{П(Ж)}^2}{6} \cdot \frac{12s_1 + 6\delta s_1 + \delta s_1^2/s_1}{2\chi \cdot s_1 + K_{П(Ж)} \cdot \delta s_2} - \mu^2(K_{MP}). \quad (9)$$

В соответствии с неравенством Чебышева [3]

$$P(|K_{MP} - \mu(K_{MP})| \geq t \cdot \sigma(K_{MP})) \leq 1/t^2, \quad (10)$$

где P – вероятность; t – некоторая константа.

Если обозначить: α – доверительная вероятность; β – возможная относительная ошибка прогноза (оценки) при заданной доверительной вероятности, тогда для граничного случая:

$$(1 - \alpha) = 1/t^2; \beta = t \cdot \sigma/\mu \Rightarrow \alpha = 1 - [\sigma/(\beta \cdot \mu)]^2 \text{ или } \beta = \sigma/(\mu \cdot \sqrt{1 - \alpha}). \quad (11)$$

Рассмотрим ряд примеров (П1 и П2): пусть имеется трехслойная панель с обшивками из базового материала, оптимизированная по своим геометрическим размерам. Толщина нижней обшивки определяется ее прочностью на растяжение. Необходимо оценить выигрыш в массе от замены материала данной обшивки на новый. Параметры базовой конструкции и рассматриваемых материалов, необходимые для осуществления указанной оценки, приведены в табл. 1, где обозначено: $[\sigma]_p^*$ – приведенное допускаемое напряжение на растяжение [1]. В табл. 2 рассчитаны необходимые характеристические коэффициенты и сравнительные коэффициенты эффективности.

Таблица 1

Параметры материалов и базовой конструкции

Параметр	П1		П2	
	Конструкция		Конструкция	
	базовая (1)	новая (2)	базовая (1)	новая (2)
Материал	08пс	Nitronic 30 [4]	ФК	08ю оцинкованная
$[\sigma]_p^*$, МПа	205	1247	19,2	251
ρ , кг/м ³	7846	7900	670	7846
s , мм	1,8	не известно	10	не известно
δs , мм	0,1	0,1	2	0,1

Таблица 2

Характеристические коэффициенты и сравнительные коэффициенты эффективности

	γ	χ	δ	$K_{\text{ШГ}}$	m_1	$K_{\text{П}}$	$K_{\text{М}}$	$\mu(K_{\text{МР}})$	$\sigma(K_{\text{МР}})$	$K_{\text{МР}}^{\min}$	$K_{\text{МР}}^{\max}$
П1:	0,165	0,993	1,0	0,993	0,0278	6,03	5,30	5,65	0,258	5,16	6,19
П2:	0,076	0,085	20	1,708	0,1	1,12	1,15	1,14	0,038	1,05	1,23

В табл. 2 обозначено:

$$\gamma = [\sigma]_{\text{P1}}^* / [\sigma]_{\text{P2}}^*; \delta = \delta s_1 / \delta s_2; K_{\text{ШГ}} = \chi \cdot \delta; m_1 = \delta s_1 / (2s_1); K_{\text{П}} = \chi / \gamma \text{ [1]}.$$

При полученных характеристиках $\mu(K_{\text{МР}})$ и $\sigma(K_{\text{МР}})$ зависимости $\beta(\alpha)$ по формуле (11) для рассмотренных примеров показаны в виде двух кривых на рис. 1.

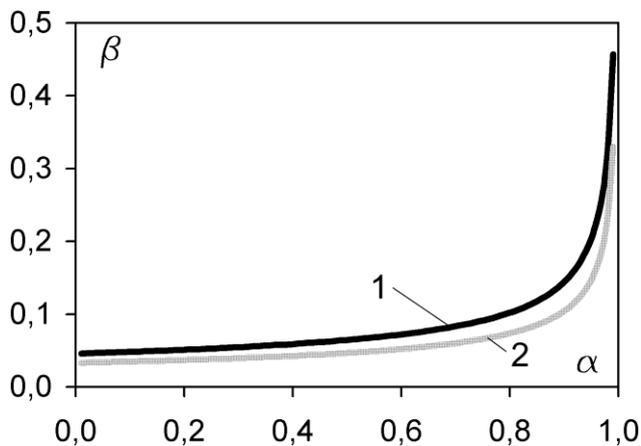


Рис. 1. Возможная относительная ошибка оценки при заданной доверительной вероятности:
1 – П1; 2 – П2

Исходя из данных табл. 2, можно сделать вывод, что в приведенных примерах наиболее вероятное значение, получаемое по зависимости (6), лежит между значениями, которые дают идеализированный показатель $K_{\text{П}}$ и предлагаемый в [1 и 2] коэффициент $K_{\text{М}}$.

Рассматривая кривые на рис. 1, можно отметить, что при доверительной вероятности 80% возможная относительная ошибка прогноза составляет не более $\pm 10\%$ для примера 1 и $\pm 7\%$ для примера 2; при доверительной вероятности 90% – возможная ошибка не более $\pm 14\%$ для примера 1 и $\pm 10\%$ для примера 2. Для прогноза на ранней стадии проектирования указанные величины возможной ошибки при соответствующих им доверительных вероятностях представляются вполне допустимыми.

На практике перед проектировщиком задача может ставиться следующим образом: за счет замены материала детали ее масса (стоимость) должны быть снижены на $d \cdot 100\%$ от имеющегося значения при сохранении прочности (жесткости) детали на прежнем уровне.

Выбранный материал должен гарантированно обеспечивать требуемое улучшение указанного показателя, т.е. с доверительной вероятностью α^* , значение которой для автомобилестроения, как правило, применяется на уровне 0,95. Это гарантированно выполняется, если у нового материала

$$K_{\text{МР}}^{\min} \geq 1/(1-d). \quad (12)$$

Однако такой подход значительно сужает проектировщику пространство для выбора, так как сильно сокращает список материалов, из которого можно выбирать, потому что данное условие является неоправданно жестким.

Альтернативой является рассмотрение нескольких вариантов, что вполне обычно на ранней стадии проектирования, к которой относится этап выбора конструкционного материала. При этом достаточно, чтобы в итоге хотя бы один из этих вариантов обеспечивал требуемое улучшение. Тогда для каждого из рассматриваемых вариантов нового материала должно выполняться следующее неравенство:

$$\mu(K_{\text{МР}}) \geq 1/[(1-d) \cdot (1-\beta)] > K_{\text{МР}}^{\min}, \quad (13)$$

где β – возможная относительная ошибка прогноза при доверительной вероятности $\alpha < \alpha^*$.

Условие (13) для случая требования заданного снижения массы детали. Если задано целевое снижение стоимости, то в выражении (13) K_{MP} необходимо заменить на $K_C = C \cdot K_{MP}$, где C – относительная стоимость базового и рассматриваемого материалов [1].

При такой постановке задача сводится к следующей: сколько вариантов необходимо рассмотреть, имея для каждого варианта относительную ошибку прогноза β , чтобы хотя бы один из них обеспечивал достижение целевого показателя с доверительной вероятностью α^* .

Пусть рассматриваются n вариантов, для каждого из которых известны характеристики $\alpha_i < \alpha^*$ и $\beta_i = \beta \quad \forall i = 1..n$. При этом возможны n независимых друг от друга событий A_i , означающих, что i -й вариант обеспечил прогноз с относительным отклонением от реального значения не превышающим β , $P(A_i) = \alpha_i$. Событие A заключается в том, что хотя бы одно из событий A_i произошло. Событие \bar{A} противоположно событию A , т.е. заключается в том, что ни одно из событий A_i не произошло, тогда:

$$P(\bar{A}) = \prod_1^n (1 - \alpha_i) = q^n, \tag{14}$$

где $q = \sqrt[n]{\prod_1^n (1 - \alpha_i)}$ – среднее геометрическое вероятности того, что событие A_i не произойдет $\forall i = 1..n$. На практике значение q предварительно определяется на основе двух вариантов. При получении $n > 2$ значение q уточняется на основании полученного количества n вариантов.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть уравнение:

$$P(A) = 1 - P(\bar{A}) = 1 - q^n = \alpha^* \Rightarrow n = \log_q(1 - \alpha^*) = \ln(1 - \alpha^*) / \ln(q). \tag{15}$$

Таким образом, чем больше каждое значение α_i , т.е. больше β (см. рис. 1), тем меньше результирующее значение q , т.е. оно ближе к значению $(1 - \alpha^*)$, следовательно, тем ближе значение n к единице. Из приведенных рассуждений можно сделать вывод, что при проектировании следует принимать как можно большее значение β , которое могут обеспечить рассматриваемые варианты, чтобы уменьшить их необходимое количество. Однако при этом в соответствии с (13) возрастают требования к рассматриваемым вариантам материалов, следовательно:

$$\beta_{\max} \leq 1 - 1 / [(1 - d) \cdot \min\{\mu(K_{MPi})\}] \quad \forall i = 1..n. \tag{16}$$

Из графиков, приведенных на рис. 1, видно, что при приближении значения α к единице, увеличение β влечет за собой лишь незначительное увеличение α , следовательно, в соответствии с (13) требования к рассматриваемым вариантам материалов возрастают, а необходимое количество вариантов уменьшается медленно. Поэтому на практике следует принимать значение β не выше 0,05 ... 0,15.

Рассмотрим пример: пусть имеется трехслойная панель, оптимизированная по своим геометрическим размерам. Материал обшивок базовой конструкции: фанера ФК_{ХВ} по ГОСТ 3916.2-96, индекс ХВ здесь и далее означает, что фанера из хвойных пород древесины, индекс Л – из лиственных (ГОСТ 3916.1-96). Толщина нижней обшивки, как и в предыдущих примерах, определяется ее прочностью на растяжение. Ставится задача за счет замены материала снизить массу данной обшивки на 40%. Параметры базовой конструкции и характеристики рассматриваемых материалов, необходимые для осуществления выбора подходящих вариантов материалов для замены, приведены в табл. 3. В табл. 4 представлены результаты сравнений характеристик данных материалов по критериям (12) и (13), а также значения вероятностей α по зависимости (11) для $d = 0,4$ и $\beta = 0,1$.

Таблица 3

Список рассматриваемых материалов и параметры базовой конструкции

Материал	ФК _{ХВ} базовый	ФБС	ФБС-1	ФБВ	ФСФ _Л	ФСФ _{ХВ}	ФКМ	ФК _Л
$[\sigma]_P^*$, МПа	12,9	69,7	47,0	62,9	25,4	16,0	27,0	19,2
ρ , кг/м ³	670	1200	1200	1200	710	650	750	700
δs , мм	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0
s , мм	8	-	-	-	-	-	-	-
γ	-	0,185	0,274	0,205	0,508	0,806	0,478	0,674
χ	-	0,558	0,558	0,558	0,94	1,03	0,89	0,96
K_{II}	-	3,02	2,04	2,72	1,86	1,28	1,87	1,42
$\mu(K_{MP})$	-	2,45	1,95	2,26	1,86	1,31	1,87	1,38
$\sigma(K_{MP})$	-	0,376	0,133	0,321	0,089	0,053	0,092	0,083
K_{MP}^{\min}	-	1,80	1,66	1,69	1,65	1,19	1,65	1,20

Таблица 4

К выбору вариантов материалов на замену базовому

	ФБС	ФБС-1	ФБВ	ФСФ _Л	ФСФ _{ХВ}	ФКМ	ФК _Л
$K_{MP}^{\min} \geq 1/(1-d)$	да	нет	да	нет	нет	нет	нет
$\mu(K_{MP}) \geq 1/[(1-d) \cdot (1-\beta)]$	да	да	да	да	нет	да	нет
α	-	0,533	-	0,772	-	0,759	-

Из табл. 4 видно, что по критерию (12) проходят только самые прочные и одновременно дорогие материалы: ФБС и ФБВ. По критерию (13) количество подходящих материалов существенно больше.

Первоначально выбираем два варианта материалов, не проходящих по критерию (12), но проходящих по критерию (13): ФСФ_Л и ФКМ, по зависимостям (14) и (15) рассчитываем величины q и n для $\alpha^* = 0,95$:

$$q = \sqrt{(1-0,772) \cdot (1-0,759)} = 0,235; n = \ln(1-0,95) / \ln(0,234) = 2,07, \text{ округляем до } 3.$$

Добавляем в расчет третий вариант материала: ФБС-1, получаем:

$$q = \sqrt[3]{(1-0,772) \cdot (1-0,759) \cdot (1-0,533)} = 0,295; n = \ln(1-0,95) / \ln(0,294) = 2,45,$$

округляем до 3. Таким образом, количество необходимых вариантов соответствует рассмотренному количеству, следовательно, сформирован выбор из трех вариантов материалов на замену базовому. При этом хотя бы один из выбранных вариантов с доверительной вероятностью 95% обеспечит снижение массы обшивки на 40% при сохранении ее прочности на прежнем уровне.

Резюмируя приведенные положения, можно отметить, что проектировщик на этапе выбора материала может пойти по одному из следующих способов: а) принять дорогостоящий материал с высокими механическими характеристиками, который гарантирует заданное улучшение свойств; б) рассмотреть несколько вариантов более дешевых материалов в предположении, что хотя бы один из них обеспечит удовлетворительный результат. С позиций экономических показателей проектируемого изделия предпочтителен способ (б). Однако вы-

бор в пользу одного из указанных способов зависит от допустимых на проектирование затрат. Если количество вариантов, которые необходимо рассматривать на способе (б), не велико, т.е. находится в рамках заданных затрат и сроков на проектирование, то целесообразно выбрать этот способ. Оценить количество таких вариантов позволяют разработанные аналитические зависимости и предложенная методика. На рис. 2 последовательность основных шагов данной методики представлена в виде блок-схемы.

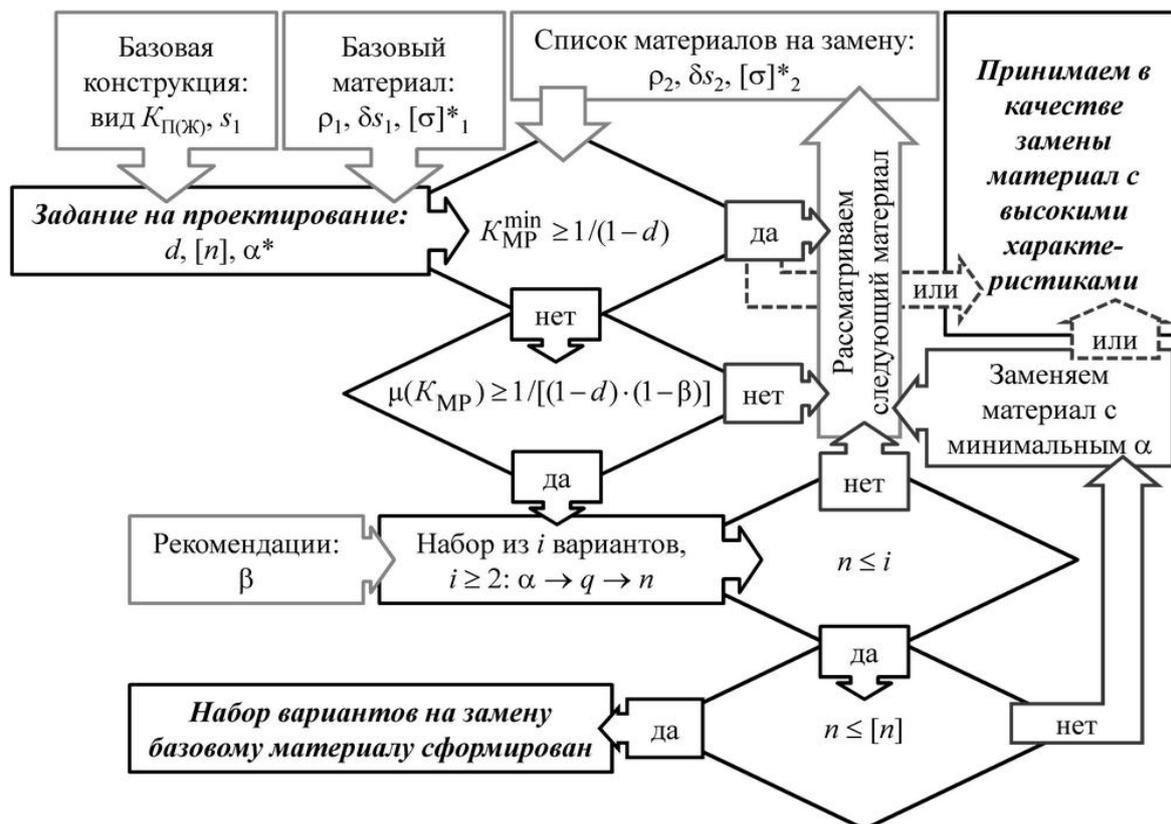


Рис. 2. Блок-схема методики выбора вариантов материалов на замену базовому

На рис. 2 обозначено: i – текущее количество вариантов материалов в наборе; $[n]$ – максимально допустимое количество вариантов в наборе. Жирным курсивным шрифтом обозначены начальный и конечные блоки методики.

Выводы

1. На основе методов теории вероятностей выведены формулы для определения величин ($\mu(K_{MP})$, $\sigma(K_{MP})$, K_{MP}^{\min} , K_{MP}^{\max} , α , β , q , n), позволяющих количественно охарактеризовать возможный выигрыш в массе или стоимости тонкостенной детали при замене ее материала на новый с учетом такого важного аспекта, как дискретность имеющегося ряда толщин листов.

2. Разработана методика, продемонстрированная на приведенном примере, позволяющая производить выбор материалов на замену базовому, обеспечивающий заданное улучшение массовых или стоимостных показателей тонкостенной детали. Отличительной особенностью разработанной методики является возможность выявления увеличенного количества допустимых вариантов материалов на замену за счет учета тех материалов, которые могут обеспечить заданные показатели с вероятностью ниже доверительной.

Библиографический список

1. **Воронков, О.В.** Снижение массы автобусного кузова за счет использования трехслойных панелей: монография / О.В. Воронков, В.И. Песков. – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 228 с.
2. **Воронков, О.В.** Методика выбора рационального сочетания материалов для трехслойной панели автобусного кузова / О.В. Воронков, В.И. Песков // Журнал автомобильных инженеров. – 2010. – № 5(64). – С. 8–13.
3. **Феллер, В.** Введение в теорию вероятностей и ее приложения: [пер. с англ.] Т. 1. / В. Феллер. – М.: Издательство «Мир», 1964. – 498 с.
4. Компания AK Steel Corporation [Электронный ресурс] : [официальный сайт].- Электрон. дан. и прогр.- США, Огайо, Вест Честер.- Режим доступа: <http://www.aksteel.com/>, свободный. - Загл. с титул. экрана. 2015.

*Дата поступления
в редакцию 27.05.2016*

O.V. Voronkov, V.I. Peskov

**COEFFICIENT OF MATERIAL REAL MASS EFFICIENCY
AND APPLICATION METHODS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeyev

On early stage of vehicle body development one of the most relevant tasks is selection of structural materials. For thin-walled parts an important aspect influencing weight and cost efficiency is availability of only discrete thickness values of material sheets. Forecasting the effect of change from base material to a new one accounting the mentioned aspect is possible using the methods and efficiency coefficients [1, 2] previously developed by the authors. In this paper for evolution of the already existing methods for coefficient of material efficiency and supplementary values new formulas based on probability theory are proposed. The formulas lead to more accurate and reliable forecast and provide its probability characteristics. Also new methods for application of the dependencies are proposed complementing the already existing methods. A distinctive feature of the new methods is possibility to reveal an extended list of materials which can change the base material including those which can fulfill the desired requirements with probability lower than confidence probability.

Key words: material efficiency, discrete thickness of sheets, probability, selection methods, development.