УДК 519.83

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ИГР В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Кобзарь А.И.*, Тикменов В.Н., Тикменова И.В.*****

НТЦ ЭЛИНС,
Панфиловский просп., 4, стр.1, Москва, 124460, Россия
** e-mail: kobzar@elins.ru*
*** e-mail: tikmenov@elins.ru*
**** e-mail: jasmin@elins.ru*

Рассматривается задача повышения оптимальности решений, принимаемых менеджментом компании при подготовке производственного плана, с учетом конъюнктуры рынка. Методология основана на схематизации задачи в формате игры с природой с использованием критериев полной неопределенности (максимакса, Вальда, Гурвица, Сэвиджа) и риска (Байеса—Лапласа, Байеса, Ходжеса—Лемана). Приводится пример решения поставленной задачи.

Ключевые слова: оптимальность решения, игра с природой, критерии полной неопределенности, критерии риска, производственный план.

Введение

Планирование производства — основная задача менеджмента любой компании реального сектора экономики. Неопределенность спроса на выпускаемый продукт, ценовые и временные требования к выполнению заказов на поставку продукции зависят от конъюнктуры рынка, что заставляет компанию-производителя изыскивать методы принятия решений, позволяющие снизить риски экономических потерь. Особенно остро это проявляется в условиях экономической турбулентности, характеризующейся резкими изменениями тенденций развития экономических процессов, обусловленных политической нестабильностью и кризисом в мировой экономике. В такие периоды существенно возрастают требования к качеству решений, принимаемых менеджментом компаний.

Одним из эффективных инструментов повышения качества решений в условиях полной неопределенности и повышенного риска являются методы теории игр [1—3]. Задача поиска оптимального решения в ситуации, когда источником неопределенности и риска служит неустойчивая внешняя среда, является задачей принятия решений в условиях полной неопределенности.

В такой постановке поиск оптимального решения сводится к игре с природой, особенность которой заключается в том, что в ней сознательно действует только один из участников — в нашем случае менеджмент компании. Второй игрок, условно называемый природой, принимает решения независимо от действий менеджмента компании. Его действия определяются конъюнктурой рынка, возможностью корректировки объема государственного заказа на продукцию специального назначения.

В статье рассматриваются методология и методы принятия решений при подготовке плана производства применительно к государственному заказу на поставку специального оборудования (на примере практического опыта одного из предприятий оборонно-промышленного комплекса).

Постановка задачи

Компания ожидает получение государственного заказа на поставку специального оборудования (СПО), производство которого предполагает предварительную разработку и изготовление высокотехнологичных рабочих мест (РМ). Следует определиться, сколько РМ потребуется изготовить компании для своевременного выполнения производственного плана при условии, что для изготовления одного СПО необходим один комплект РМ.

Предварительно известно, что возможный объем заказа на СПО (а следовательно, и на РМ) — это одна из величин ряда $N_1 < N_2 < N_3 < N_4 < N_5$ ед.; прибыль от изготовления одного СПО — S_1 ед.;

убыток от срыва сроков поставки — S_2 ед. на один непоставленное СПО; убыток от простоя изготовленного РМ при отсутствии заказов — S_3 ед. на одно РМ. Задача менеджмента — определить необходимое количество РМ в целях обеспечения максимальной прибыли компании от выполнения производственного плана по изготовлению СПО при отсутствии достоверной информации о возможном количестве заказов на него.

Задачу поиска оптимального решения составляет содержание игры с природой [1]. Схематизируем игру с природой в форме платежной матрицы, представленной в табл. 1, где N, n — количество СПО и РМ соответственно. В ячейках матрицы приведены значения прибыли, получаемой компанией от выполнения плана поставок СПО. Необходимо определить, какое количество РМ следует изготовить, чтобы обеспечить максимальную прибыль компании.

В схематизации табл. 1 $n_1,\ldots,\ n_5$ — стратегии менеджмента компании;

$N_1,\ \ldots,\ N_5$ — стратегии природы (государственного заказчика).

При отсутствии оценки вероятного размера заказа менеджмент должен принимать решение в условиях полной неопределенности. При наличии требуемых вероятностных оценок имеет место ситуация принятия решений в условиях риска.

Оценить наиболее вероятный размер заказа на поставку СПО можно на основе опыта, знаний и интуиции квалифицированных экспертов. Для этого используется метод экспертных оценок [4, 5], в соответствии с которым группе специалистов-экспертов предлагается проранжировать (расположить в порядке возрастания величины) дискретный ряд априори возможных значений N_i по вероятности их реализации $P_j\ (N_j)$ (табл. 2).

Таблица 1

Платежная матрица игры

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
n_1	$N_1 \cdot S_1$	$N_1 \cdot S_1 - (N_2 - N_1) \cdot S_2$	$N_1 \cdot S_1 - (N_3 - N_1) \cdot S_2$	$N_1 \cdot S_1 - (N_4 - N_1) \cdot S_2$	$N_1 \cdot S_1 - (N_5 - N_1) \cdot S_2$
n_2	$N_1 \cdot S_1 - (n_2 - n_1) \cdot S_3$	$N_2 \cdot S_1$	$N_2 \cdot S_1 - (N_3 - N_2) \cdot S_2$	$N_2 \cdot S_1 - (N_4 - N_2) \cdot S_2$	$N_2 \cdot S_1 - (N_5 - N_2) \cdot S_2$
n_3	$N_1 \cdot S_1 - (n_3 - n_1) \cdot S_3$	$N_2 \cdot S_1 - (n_3 - n_2) \cdot S_3$	$N_3 \cdot S_1$	$N_3 \cdot S_1 - (N_4 - N_3) \cdot S_2$	$N_3 \cdot S_1 - (N_5 - N_3) \cdot S_2$
n_4	$N_1 \cdot S_1 - (n_4 - n_1) \cdot S_3$	$N_2 \cdot S_1 - (n_4 - n_2) \cdot S_3$	$N_3 \cdot S_1 - (n_4 - n_3) \cdot S_3$	$N_4 \cdot S_1$	$N_4 \cdot S_1 - (N_5 - N_4) \cdot S_2$
n_5	$N_1 \cdot S_1 - (n_5 - n_1) \cdot S_3$	$N_2 \cdot S_1 - (n_5 - n_2) \cdot S_3$	$N_3 \cdot S_1 - (n_5 - n_3) \cdot S_3$	$N_4 \cdot S_1 - (n_5 - n_4) \cdot S_3$	$N_5 \cdot S_1$

Таблица 2

Экспертная оценка $P_{ij}\ (N_j)$

Эксперт, i	Объект экспертизы, N_j					
	N_1	N_2	...	N_j	...	N_k
1	$P_{11}(R_{11})$	$P_{12}(R_{12})$	...	$P_{1j}(R_{1j})$	...	$P_{1k}(R_{1k})$
2	$P_{21}(R_{21})$	$P_{22}(R_{22})$	...	$P_{2j}(R_{2j})$	...	$P_{2k}(R_{2k})$
...	...	...	...	...	...	...
i	$P_{i1}(R_{i1})$	$P_{i2}(R_{i2})$	...	$P_{ij}(R_{ij})$	...	$P_{ik}(R_{ik})$
...	...	...	...	...	...	...
m	$P_{m1}(R_{m1})$	$P_{m2}(R_{m2})$	...	$P_{mj}(R_{mj})$	...	$P_{mk}(R_{mk})$

В табл. 2 приняты следующие обозначения:

$P_{ij}\left(i=1,\ldots,\ m;\ j=1,\ldots,\ k\right)$ — оценка i-м экспертом вероятности получения заказа в объеме N_j ед. СПО; m — количество экспертов; k — число ранжируемых объектов; R_{ij} — ранг, присвоенный i-м экспертом оценке вероятности P_{ij} заказа СПО в объеме N_j.

Распространенной мерой согласованности оценок экспертов является коэффициент конкордации Кендалла—Бэбингтона Смита [4—6]:

$$W=\frac{12S_W}{m^2\left(k^3-k\right)}, \qquad (1)$$

где S_W — сумма квадратов отклонения суммы рангов экспертов по различным значениям N_j от среднего значения рангов,

$$S_W=\sum_{j=1}^{k}\left\{\sum_{i=1}^{m}R_{ij}-\frac{m(k+1)}{2}\right\}^2. \qquad (2)$$

Значения W расположены в интервале от 0 (отсутствие согласованности среди экспертов) до 1 (полная согласованность оценок экспертов). Точные критические значения суммы $S_{W_{\text{кр}}}(\alpha)$ приведены в работе [6, табл. 228, с. 635].

При $S_{W_{\text{кр}}}(\alpha)>S_W$ мнения экспертов с достоверностью α признаются согласованными и воспринимаются как консолидированное мнение группы квалифицированных специалистов.

Решение

В результате предварительного ситуационно-экономического анализа были сформулированы следующие исходные данные задачи:

$$N_1=10,\ N_2=20,\ N_3=30,\ N_4=40,\ N_5=50\ \text{шт.};$$

$$S_1=9\ \text{ед.},\ S_2=6\ \text{ед.},\ S_3=6\ \text{ед.}$$

Необходимо определить, в каком количестве (n) следует изготовить РМ, чтобы прибыль от поставки СПО была максимальной.

Предварительно группе высококвалифицированных специалистов-экспертов было предложено оценить вероятность заказа СПО в указанных выше количествах (табл. 3).

С помощью критерия конкордации Кендалла—Бэбингтона Смита проверяем согласованность оценок экспертов.

Вычисляем по формуле (1) сумму квадратов отклонений рангов от $\frac{m(k+1)}{2}=\frac{5\cdot 6}{2}=15$:

$$S_W=\sum_{j=1}^{k}\left\{\sum_{i=1}^{m}R_{ij}-\frac{m(k+1)}{2}\right\}^2=(19-15)^2+$$

$$+(14-15)^2+(7-15)^2+(10-15)^2+(25-15)^2=206$$

и коэффициент конкордации Кендалла—Бэбингтона Смита [4]:

$$W=\frac{12S_W}{m^2\left(k^3-k\right)}=\frac{12\cdot 206}{5^2\cdot\left(5^3-5\right)}=0,824.$$

Значение коэффициента W достаточно велико, что свидетельствует о согласованности мнений эк-

Таблица 3

Результаты экспертной оценки

Эксперт, i	$N_1=10$		$N_2=20$		$N_3=30$		$N_4=40$		$N_5=50$		$\sum_{j=1}^{5}R_{ij}$
	P_{i1}	R_{i1}	P_{i2}	R_{i2}	P_{i3}	R_{i3}	P_{i4}	R_{i4}	P_{i5}	R_{i5}	
1	0,10	4	0,15	3	0,50	1	0,20	2	0,05	5	15
2	0,12	4	0,18	3	0,47	1	0,20	2	0,03	5	15
3	0,10	4	0,15	3	0,32	2	0,38	1	0,05	5	15
4	0,15	3	0,20	2	0,50	1	0,10	4	0,05	5	15
5	0,10	4	0,15	3	0,30	2	0,40	1	0,05	5	15
$\bar{P}_j$	0,114		0,166		0,418		0,256		0,046		
$\sum_{i=1}^{5}R_{ij}$		19		14		7		10		25	

спертов. Проверка посредством сравнения с критическим значением суммы S_W [6]

$$S_W = 206 > S_W(0{,}99) = 142{,}8$$

позволяет констатировать высокую согласованность оценок в группе экспертов.

В соответствии с табл. 1 и с учетом исходных значений N_j, S_1, S_2, S_3 и результатов экспертной оценки $\bar{P}_j$ (табл. 3) формируем платежную матрицу игры с природой (табл. 4), в ячейках которой находятся значения прибыли a_{ij}, ожидаемые при различных объемах заказов на СПО N_j при обеспечении их рабочими местами в количестве n_i.

На сегодня разработана серия количественных критериев, ориентирующих менеджмент на выбор оптимального решения [1; 2]. Следует, однако, отметить, что не всегда совпадают рекомендации различных критериев, часто для выбора наилучшего решения необходимо использовать интуицию и особенности экономической ситуации.

В случае полной неопределенности применяются следующие критерии: крайнего оптимизма — максимакса, крайнего пессимизма — Вальда, пессимизма-оптимизма — Гурвица, минимального риска — Сэвиджа [1]; в случае риска — критерии Байеса—Лапласа, Байеса, Ходжеса—Лемана [1], использующие априорные оценки вероятностей различных состояний природы (N_j).

Рассмотрим особенности перечисленных критериев.

Группа критериев для случаев полной неопределенности:

• *критерий максимакса* — критерий крайнего оптимизма, когда игрок, находясь в безвыходном положении, пренебрегает любым риском в надежде сорвать джекпот (наибольший из максимальных выигрышей):

$$MM = \max_{1\le i\le m}\left(\max_{1\le j\le n} a_{ij}\right); \qquad (3)$$

• *максиминный критерий Вальда* — критерий крайнего пессимизма, отражающий принцип гарантированного результата, когда игрок выбирает стратегию, максимизирующую его прибыль в самой неблагоприятной ситуации:

$$W_V = \max_{1\le i\le m}\left(\min_{1\le j\le n} a_{ij}\right); \qquad (4)$$

• *критерий пессимизма-оптимизма* Гурвица — составной критерий, ориентированный на здравый пессимизм (оптимизм):

$$W_G = \max_{1\le i\le m}\left(\alpha\cdot\min_{1\le j\le n} a_{ij} + (1-\alpha)\cdot\max_{1\le j\le n} a_{ij}\right), \qquad (5)$$

где $0 < \alpha < 1$ характеризует степень пессимизма игрока; его значение определяется субъективной реакцией игрока на ситуацию, в которой принимается решение (при отсутствии явных предпочтений рекомендуется выбирать $\alpha = 0{,}5$; при $\alpha = 0$ критерий Гурвица совпадает с *MM*-критерием, а при $\alpha = 1$ — с W_V-критерием);

• *критерий минимального риска Сэвиджа* предполагает, что оптимальной является стратегия, при которой в самом неблагоприятном случае величина риска r_{ij} будет минимальной:

$$W_S = \min_{1\le i\le m}\left(\max_{1\le j\le n} r_{ij}\right). \qquad (6)$$

Если априори известны оценки вероятностей состояния природы, то имеет место ситуация риска, когда применяются следующие критерии:

• *критерий Байеса—Лапласа* исходит из равновероятности состояний природы и рекомендует игроку ориентироваться на максимальное среднее значение выигрыша по всем состояниям природы:

$$W_{BL} = \max_{1\le i\le m}\left(\frac{1}{n}\cdot\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right); \qquad (7)$$

Таблица 4

Матрица игры с природой

	N_1=10	N_2=20	N_3=30	N_4=40	N_5=50
$\bar{P}(N_j)$	0,114	0,166	0,418	0,256	0,046
A_1 (n_1=10)	90	40	–10	–60	–110
A_2 (n_2=20)	30	180	130	80	30
A_3 (n_3=30)	–30	120	270	220	170
A_4 (n_4=40)	–90	60	210	360	310
A_5 (n_5=50)	–150	0	150	300	450

• *критерий Байеса* (по аналогии с W_{BL}-критерием) ориентирован на максимизацию математического ожидания выигрыша с учетом априорно известных вероятностей состояний природы p_j:

$$W_B = \max_{1 \le i \le m}\left(\sum_{j=1}^{n} p_j \cdot a_{ij}\right); \quad (8)$$

• *критерий Ходжеса—Лемана*, как и W_G-критерий, — составной:

$$W_{HL} = \max_{1 \le i \le m}\left(\beta \cdot \sum_{j=1}^{n} p_j \cdot a_{ij} + (1-\beta) \cdot \min_{1 \ge j \le n} a_{ij}\right). \quad (9)$$

При $\beta = 0$ W_{HL}-критерий совпадает с W_V-критерием, а при $\beta = 1$ — с W_B-критерием.

Для вычисления критериев преобразуем матрицу выигрышей (табл. 4) в матрицу рисков (табл. 5), определяемых разностью между максимальным значением в столбце игровой матрицы (табл. 4) и содержимым каждой его ячейки: $r_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$.

Исходные данные из табл. 4 и 5, необходимые для вычисления критериев принятия решений, сведены в табл. 6.

Используя данные табл. 6, вычисляем по формулам (3)—(9) искомые критерии (в скобках — рекомендуемая критерием стратегия):

$$MM = \max_i\left(\max_j a_{ij}\right) =$$

$$= \max(90; 180; 270; 360; 450) = 450\,(A_5);$$

Таблица 5

Матрица рисков

	N_1=10	N_2=20	N_3=30	N_4=40	N_5=50
$\bar{P}(N_j)$	0,114	0,166	0,418	0,256	0,046
A_1 (n_1=10)	0	140	280	420	560
A_2 (n_2=20)	60	0	140	280	420
A_3 (n_3=30)	120	60	0	140	280
A_4 (n_4=40)	180	120	60	0	140
A_5 (n_5=50)	240	180	120	60	0

Таблица 6

Исходные данные для вычисления критериев принятия решения (*цветом отмечены рекомендуемые стратегии*)

Исходные данные	Стратегии игрока A_i				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
$\min a_{ij}$	–110	30	–30	–90	–150
$\max a_{ij}$	90	180	270	360	450
$\frac{1}{n}\sum a_{ij}$	–10	90	150	170	150
$\sum P_j \cdot a_{ij}$	–7,7	109,5	193,5	193,9	143,1
$0{,}5(\min a_{ij} + \max a_{ij})$	–10	105	120	135	150
$\max r_{ij}$	560	420	280	180	240
$\frac{1}{n}\sum r_{ij}$	280	180	120	100	120
$\sum P_j \cdot r_{ij}$	301,56	156,36	72,36	71,96	122,76
$0{,}5(\sum P_j a_{ij} + \min a_{ij})$	–58,5	69,7	81,7	51,9	–3,4

$$W_V = \max_i\left(\min_j a_{ij}\right) =$$

$$= \max(-110; 30; -30; 90; 150) = 30\,(A_2);$$

$$W_G(0{,}5) = \max_i\left(\alpha \min_j a_{ij} + (1-\alpha)\max_j a_{ij}\right) =$$

$$= \max(-10; 105; 120; 135; 150) = 150\,(A_5);$$

$$W_S = \min_i\left(\max_j r_{ij}\right) =$$

$$= \min(560; 420; 280; 180; 240) = 180\,(A_4);$$

$$W_{BL} = \max_i\left(\frac{1}{n}\cdot\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right) =$$

$$= \max(-10; 90; 150; 170; 150) = 170\,(A_4);$$

$$W_B = \max_i\left(\sum_{j=1}^{n} P_j \cdot a_{ij}\right) =$$

$$= \max(-7{,}7; 109{,}7; 193{,}5; 193{,}9; 143{,}1) = 193{,}9\,(A_4);$$

$$W_{HL}(0{,}5) = \max_i\left(\beta\cdot\sum_{j=1}^{n} P_j \cdot a_{ij} + (1-\beta)\cdot\min_j a_{ij}\right) =$$

$$= \max(-58{,}8; 69{,}7; 81{,}7; 51{,}9; -3{,}4) = 81{,}7\,(A_3).$$

Выводы

Анализ рекомендаций критериев (3)—(9) позволяет сделать следующие выводы:

— критерии крайнего пессимизма W_V, крайнего оптимизма *MM* и составной критерий пессимизма-оптимизма W_G рекомендуют применять стратегии A_2 или A_5, обеспечивающие или максимальный выигрыш при азартно рискованной игре (A_5), или, при излишней перестраховке (A_2), — отсутствие проигрыша при нулевом или минимальном выигрыше;

— критерий минимального риска W_S и группа W_B-, W_{BL}- и W_{HL}-критериев, использующих априорную информацию экспертных оценок, ориентируют менеджмент компании на стратегии A_3 и A_4.

Сравнение стратегий A_3 и A_4 по дополнительным показателям, характеризующим средние выигрыши и риски,

$$\frac{1}{n}\cdot\sum a_{ij}(A_4) = 170 > \frac{1}{n}\cdot\sum(A_3) = 150;$$

$$\frac{1}{n}\cdot\sum r_{ij}(A_3) = 120 > \frac{1}{n}\cdot\sum r_{ij} = 100$$

позволяет сделать уверенный выбор в пользу стратегии A_4, так как ее применение при выполнении плана поставок СПО обеспечивает получение большей в среднем прибыли (на 13 %) при меньших (на 20 %) рисках.

Таким образом, руководству и менеджменту компании рекомендуется обеспечить изготовление 40 комплектов РМ для СПО, что позволит при выполнении плана поставок в установленные сроки получить максимальную среднюю прибыль в размере 170 ед. Такая рекомендация не очевидна, поскольку эксперты оценили объем заказа СПО в размере 30 ед. как наиболее вероятный.

Проведение теоретико-игрового математического моделирования позволило менеджменту компании проанализировать особенности экономической ситуации и принять обоснованное плановое решение, обеспечивающее максимально возможную прибыль.

Библиографический список

1. *Колобашкина Л.В.* Основы теории игр. — М.: БИНОМ, 2012. — 164 с.
2. *Печерский С.М., Беляева А.А.* Теория игр для экономистов. — СПб.: Изд. Европейского университета, 2001. — 342 с.
3. *Лабскер Л.Г.* Экономические игры с природой (практикум с решениями задач). — М.: КноРус, 2015. — 512 с.
4. *Kendall M.G., Smith B.* The Problem of m Rankings // The Annals of Mathematical Statistics. 1939. V. 68. № 2. P. 451-456.
5. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 1000 с.
6. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. — М.: Физматлит, 2012. — 816 с.

METHODS OF GAMES THEORY IN PROBLEMS OF OPTIMAL PRODUCTION PLANNING

Kobzar' A.I.*, Tikmenov V.N., Tikmenova I.V.*****

STC ELINS, 4/1, Panfilovsky av., Moscow, 124460, Russia
* *e-mail: kobzar@elins.ru*
** *e-mail: tikmenov@elins.ru*
*** *e-mail: jasmin@elins.ru*

Abstract

Uncertain demand for output products forces a manufacturer to make planned decisions under conditions of uncertainty and risk.

An efficient tool for enhancing the quality of planned solutions is implementation of the games theory methods. The article analyses the task of searching for an optimal decision in a situation, where the volume of government-guaranteed orders is a source of uncertainty and risk.

A search for optimal decisions comes down to the game with nature, in which one player - company's management - acts consciously and the second player - nature (state customer) - makes decisions regardless of the company's management and is guided only by changing of external economic and political conditions.

The article considers also methodological issues related to making a decision on optimization of a Government order performance plan by the example of a defense industry enterprise.

The article describes the key elements of payoff matrix related to the game with nature. The company's profit maximization is a criterion of optimal planning decision.

The maximax criteria advanced by Wald, Hurwitz and Savage under conditions of uncertainty is applied. Applying an expert probability estimate of the state of nature (a volume of government orders) makes it possible to calculate the risk criteria by Bayes, Laplace, Hodges-Lehmann. The opinion consistency within a group of experts is estimated by Kendall's and Babington Smith's coefficient of concordance.

A comprehensive comparison of total calculated criteria allowed developing an optimal strategy for preparation of government order performance plan ensuring the company's maximum average profit provided that it is fulfilled within the established time limits.

Keywords: decision optimality, game with the nature, complete uncertainty criteria, risk criteria, production plan.

References

1. Kolobashkina L.V. *Osnovy teorii igr* (Game Theory. Theoretical Framework), Moscow, BINOM, 2012, 164 p.
2. Pecherskii S.M., Belyaeva A.A. *Teoriya igr dlya ekonomistov* (Game Theory for Economists), St. Peterburg, Izd. Evropejskogo universiteta, 2001, 342 p.
3. Labsker L.G. *Ekonomicheskie igry s prirodoi* (*praktikum s resheniyami zadach*) (Economic Games with Nature (PRACTICUM Including Problem Solving)), Moscow, KnoRus, 2015, 512 p.
4. Kendall M.G., Smith B. The Problem of m Rankings, *The Annals of Mathematical Statistics*, 1939, vol. 68, no. 2, p. 451-456.
5. Aivazyan S.A., Mkhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki* (Applied Statistics and Econometrics Principles), Moscow, YuNITI, 1998, 1000 p.
6. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* (Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists), Moscow, FIZMATLIT, 2012, 816 p.