

УДК 330.46

EDN: PVOVQV

Лепило Н. Н., Мартыненко Д. А.Донбасский государственный технический университет***E-mail: nnlepilo@mail.ru*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕБЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассмотрены вопросы автоматизации производственно-управленческих процессов мебельного предприятия и оказания помощи клиентам в выборе оптимального варианта мебели с учетом индивидуальных предпочтений на основе метода ранжирования альтернатив по степени близости к наилучшему решению.

Ключевые слова: математические методы принятия решений, мебельное предприятие, модели раскроя, оптимизация, ранжирование альтернатив, информационная система.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время значимую роль в жизни человека занимает мебель, которая должна обеспечивать функциональность, удовлетворять эстетическим и эргономическим требованиям, быть изготовленной из экологически чистых материалов.

В последние годы изменилось отношение людей к приобретению мебели: они предпочитают вначале продумать дизайн-проект квартиры, а затем подобрать подходящую мебель путем выбора приемлемой комбинации между ценой товара и его качеством [1]. Часто не получается подобрать мебель, удовлетворяющую запросам конкретного клиента, и он принимает решение об изготовлении мебели на заказ.

Современный покупатель стремится получить максимальный результат при минимальных затратах. Для принятия оптимальных решений на основе критериев выбора покупателя целесообразно использовать современные информационные технологии и экономико-математические модели, базирующиеся на их основе.

Постановка задачи. *Целью* статьи является разработка рекомендаций, направленных на оптимизацию производственно-управленческих процессов предприятия, которое специализируется на изготовлении мебели на заказ и ее продаже покупателям.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих *задач*:

– рассмотреть методологические, теоретические и практические аспекты математического моделирования производственно-управленческих процессов мебельного предприятия;

– рассмотреть программные продукты, позволяющие автоматизировать управленческую деятельность в этой сфере;

– разработать мероприятия, нацеленные на оптимизацию производственно-управленческих процессов мебельного предприятия на базе применения современных информационных технологий, математических моделей и методов.

Методика исследования. В работе использованы математические методы принятия решений, статистические методы, методы системного подхода, экономико-математического моделирования, математического программирования, оптимизационные модели и методы.

Изложение материала. По данным Ассоциации предприятий мебельной и деревообрабатывающей промышленности России, производство мебели в 2023 году выросло в натуральном выражении на 43 % (до 67,5 млн единиц мебели) и в денежном выражении на 37 % (до 444,9 млрд рублей). Рост производства сопровождался снижением объемов импорта. Наибольший прирост

показали сегменты мебели для кухни и металлической мебели для офисов [2]. Эксперты объясняют этот рост уходом зарубежных брендов, строительством нового жилья, ростом рынка недвижимости, мерами государственной поддержки, оптовыми закупками мебели застройщиками квартир с последующей их продажей уже с мебелью, что оказалось выгодным для конечного потребителя [3]. При этом цены на мебель российского производства в 2023 году выросли в среднем на 9,6 %.

Учитывая опыт крупных брендов и тренды поведения покупателей, производителям мебели в текущем году целесообразно обратить внимание на следующие направления: цена; ассортимент; маркетинг; репутация; продвижение в интернете и на торговых площадках. Увеличению объема продаж способствуют маркетинговые акции в виде программ лояльности, сезонных скидок, возможности приобретения в рассрочку или в кредит и т. п. Следует также контролировать качество продукции и обслуживания, оперативно решать проблемы клиентов и реагировать на их обращения.

Одной из основных задач мебельных предприятий является оптимизация раскроя листовых материалов на исходные детали. Целевая функция модели раскроя с минимальными отходами имеет вид [4]:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p c_{ji} x_{ji} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где j — индекс материала, $j = 1, \dots, n$;

i — индекс способа раскроя единицы материала, $i = 1, \dots, p$;

c_{ji} — количество отхода, полученного в результате раскроя единицы j -го материала по i -му способу;

x_{ji} — количество единиц j -го материала, полученных по i -му способу раскроя (интенсивность применения способа раскроя).

При этом должны соблюдаться ограничения:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p a_{jik} x_{ji} \geq b_k, \quad (2)$$

$$x_{ji} \geq 0, \quad (3)$$

где k — индекс вида заготовки, $k = 1, \dots, q$;

a_{jik} — количество заготовок k -го вида, получаемых в результате раскроя единицы j -го материала по i -му способу (целое число);

b_k — количество заготовок k -го вида, получаемых в результате раскроя (целое число).

Однако в современных условиях минимизация отходов уже не является безусловно приоритетным критерием. Эффективное производство мебели приводит к необходимости использования комплексных критериев, учитывающих все издержки. В качестве такого критерия может выступать, например, обобщенная стоимость получаемых в результате раскроя деталей [5]. При этом трудоемкость раскроя зависит от количества установок размеров, поворотов панелей, карт раскроя и других факторов. На практике для оптимизации раскроя на мебельных предприятиях используют программные продукты БАЗИС-Гаскрой [6], bCUT [7], T-FLEX Раскрой [8], Новый раскрой [9] и другие.

Например, в программе «Новый раскрой» для раскроя листовых материалов оптимизация может производиться по пяти критериям: процент отходов, количество схем, длина резки, количество резок, количество пакетов. При этом можно просмотреть и сравнить нескольких вариантов раскроя, что позволяет максимально сократить расходы, исходя из конкретной ситуации на производстве и складе [9].

Для помощи покупателям в выборе оптимального варианта мебели использован метод многокритериального анализа решений TOPSIS [10]. Он основан на ранжировании альтернатив по степени близости к наилучшему решению и предполагает построение следующих искусственных альтернатив:

– идеальной положительной альтернативы, когда все критерии имеют лучшие значения;

– идеальной отрицательной альтернативы, когда все критерии имеют худшие значения.

Ранжирование альтернатив по методу TOPSIS включает ряд последовательных шагов.

Шаг 1. Построение нормализованной матрицы решений, в которой все характеристики x_{ij} приведены к безразмерным величинам с нормализацией по правилу

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i x_{ij}^2}}. \quad (4)$$

Нормализация необходима, поскольку в многокритериальных задачах критерии, как правило, несовместимы по размерности и величине.

Шаг 2. Построение взвешенной нормализованной матрицы решений

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j, \quad (5)$$

где w_j — веса критериев.

Шаг 3. Определение идеального положительного

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} \quad (6)$$

и идеального отрицательного

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \quad (7)$$

решений.

Шаг 4. Оценка геометрических (евклидовых) расстояний до идеально положительной

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

и идеально отрицательной

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

альтернатив.

Шаг 5. Определение коэффициентов, характеризующих относительную близость альтернатив к идеальному решению

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^* \leq 1. \quad (10)$$

Шаг 6. Ранжирование альтернатив в порядке убывания значений C_i^* . Альтернатива, для которой C_i^* имеет максимальное значение, считается лучшей.

Рассмотрим этот процесс на примере выбора одного из возможных вариантов мебели для кухни. При этом учтены характеристики основных компонентов, необходимых для изготовления мебели для кухни и определяющих ее стоимость. Возможные варианты целесообразного сочетания материалов, которые могут быть использованы при изготовлении мебели для кухни, приведены на рисунке 1.

Исходные данные для реализации метода Topsis показаны на рисунке 2. Альтернативами являются сборки мебели, критериями — характеристики основных комплектующих. В качестве критериев выбраны цена и срок службы фасада, столешницы и цоколя. Эта информация занесена в ячейки B4:G10. Кроме того, заданы веса критериев (ячейки B11:G11) и признак направления для каждого критерия: 1 — для максимизируемых и -1 — для минимизируемых (ячейки B12:G12).

В ячейках B13:G25 выполняется построение взвешенной нормализованной матрицы решений и определение идеального положительного и идеального отрицательного решения. По этим данным выполняются расчеты по формулам (8–10), позволяющие оценить расстояния до этих идеальных альтернатив и рассчитать коэффициенты относительной близости альтернатив к идеальному решению. Результаты ранжирования альтернативных вариантов изготовления мебели по методу Topsis показаны на рисунке 3.

Анализ, проведенный для одного из типовых размеров кухни, показал, что выбор оптимального варианта зависит от предпочтений покупателя и в основном определя-

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

ются материалами, из которых изготавливаются фасад и столешница. Как следует из приведенных результатов ранжирова-

ния альтернатив, предпочтение следует отдать варианту сборки 3, так как он наиболее близок к наилучшему решению.

	A	B	C	D
1	Вариант сборки	Фасад	Столешница	Цоколь
2	1	ЛДСП «Kronospan»	Пластиковая	Цоколь ДСП
3	2	ЛДСП влагостойкое	Пластиковая	Цоколь ДСП
4	3	ДСП, пластиковые панели	Металлическая	Цоколь МДФ
5	4	МДФ в пленке ПФХ	Искусственный камень	Цоколь ДСП
6	5	МДФ в пластике	металлическая	Цоколь МДФ
7	6	МДФ в эмали	Искусственный камень	Цоколь МДФ
8	7	Из цельного дерева	Кварцевый агломерат	Цоколь из цельного дерева

Рисунок 1 — Возможные варианты сочетания материалов, которые целесообразно использовать при изготовлении мебели для кухни

	A	B	C	D	E	F	G
1	Метод Topsis						
2	Вариант сборки	Фасад		Столешница		Цоколь	
3		цена, руб.	срок службы, лет	цена, руб.	срок службы, лет	цена, руб.	срок службы, лет
4	1	4000	6	6000	5	3000	5
5	2	6000	7	6000	5	3000	5
6	3	2000	5	12000	10	7000	7
7	4	10000	8	28000	15	3000	5
8	5	90000	10	12000	10	7000	7
9	6	24000	10	28000	15	7000	7
10	7	30000	15	40000	20	20000	15
11	Весы	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05
12	Признак max, min	-1	1	-1	1	-1	1
13	Знаменатель г	98650,90	24,47	59396,97	33,17	23958,30	21,14
14	Взвешенная нормализованная матрица и ее показатели						
15	1	0,010	0,061	0,020	0,030	0,006	0,012
16	2	0,015	0,072	0,020	0,030	0,006	0,012
17	3	0,005	0,051	0,040	0,060	0,015	0,017
18	4	0,025	0,082	0,094	0,090	0,006	0,012
19	5	0,228	0,102	0,040	0,060	0,015	0,017
20	6	0,061	0,102	0,094	0,090	0,015	0,017
21	7	0,076	0,153	0,135	0,121	0,042	0,035
22	min	0,005	0,051	0,020	0,030	0,006	0,012
23	max	0,228	0,153	0,135	0,121	0,042	0,035
24	A+	0,005	0,153	0,020	0,121	0,006	0,035
25	A-	0,228	0,051	0,135	0,030	0,042	0,012

Рисунок 2 — Исходные данные и реализация расчета по методу Topsis

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

	A	B	C	D	E
27	Результаты расчета				
28	Вариант сборки	S+	S-	C*	Ранг
29	1	0,131	0,249	0,655	4
30	2	0,125	0,245	0,663	3
31	3	0,122	0,246	0,668	1
32	4	0,112	0,220	0,664	2
33	5	0,238	0,115	0,325	7
34	6	0,112	0,191	0,631	5
35	7	0,139	0,206	0,596	6

Рисунок 3 — Результаты ранжирования альтернатив по методу Topsis

Выполненные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Для выбора оптимального варианта мебели с учетом индивидуальных предпочтений покупателя предложен и реализован метод ранжирования альтернативных вариантов мебели по степени близости к

наилучшему решению на основе метода многокритериальных решений TOPSIS.

2. Результаты проведенных исследований можно использовать в практической деятельности индивидуального предприятия, специализирующегося на изготовлении на заказ и продаже шкафов и мебели для кухни.

Список источников

1. Гринько А. На что сегодня ориентируется покупатель при выборе мебели для дома [Электронный ресурс] // РБК : [сайт]. [2024]. URL: <https://companies.rbc.ru/news/AwS2QnnFnZ/nachto-segodnya-orientiruetsya-pokupatel-pri-vyibore-mebeli-dlya-doma/> (дата обращения: 10.06.2024).
2. Морозова А. Производство мебели в России выросло на 40 % за год [Электронный ресурс] // Forbes : [сайт]. [2024]. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/507070-proizvodstvo-mebeli-v-rossii-vyroslo-na-40-za-god> (дата обращения: 10.06.2024).
3. Как изменился мебельный рынок России в 2023 году и что будет дальше [Электронный ресурс] // Retail.ru : [сайт]. [2024]. URL: https://www.retail.ru/tovar_na_polku/kak-izmenilsya-mebelnyy-rynok-rossii-v-2023-godu-i-chto-budet-dalshe/ (дата обращения: 10.06.2024).
4. Модели линейного программирования для решения задач раскроя [Электронный ресурс] // Semestr.RU : [сайт]. [2024]. URL: <https://math.semestr.ru/simplex/optimal-cutting.php> (дата обращения: 10.06.2024).
5. Бунаков П. Ю., Каскевич Н. В. Новые технологии автоматизированного раскроя материалов для мебельного производства. Коломна : МГОСГИ, 2013. 275 с.
6. БАЗИС-Гаскрой : [сайт]. URL: https://www.bazisoft.ru/products/bazis_raskroi (дата обращения: 10.06.2024).
7. Оптимизация раскроя листовых материалов [Электронный ресурс] // bCAD : [сайт]. [2024]. Оптимизация раскроя листовых материалов. URL: <https://propro.ru/ru/Products/bCUT/bcut.aspx> (дата обращения: 10.06.2024).
8. T-FLEX Раскрой — Автоматизация раскроя листовых материалов [Электронный ресурс] // Top Системы : [сайт]. [2024]. URL: <https://www.tflex.ru/products/priklad/raskr/> (дата обращения: 10.06.2024).
9. Программа «Новый раскрой» для раскроя листовых материалов [Электронный ресурс] // spb-pro100 : [сайт]. [2021]. URL: http://spb-pro100.ru/programs/novyj_raskroj/ (дата обращения: 10.06.2024).

10. Халицкая К. Выбор технологий с помощью метода Topsis // Форсайт. 2020. Т. 14. № 1. С. 85–96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-tehnologiy-s-pomoschyu-metoda-topsis> (дата обращения: 10.06.2024).

© Лепило Н. Н., Мартыненко Д. А.

**Рекомендована к печати д.э.н., проф. каф. СКС ДонГТУ Бизяновым Е. Е.,
к.т.н., доц. каф. ЭКиПС ЛГУ им. В. Даля Велигурой А. В.**

Статья поступила в редакцию 10.06.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лепило Наталья Николаевна, канд. техн. наук, доцент каф. информационных технологий Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия, e-mail: nnlepilo@mail.ru

Мартыненко Даниил Александрович, магистрант каф. информационных технологий Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия

***Lepilo N. N., Martynenko D. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: nnlepilo@mail.ru)

MATHEMATICAL MODELLING OF PRODUCTION AND MANAGEMENT PROCESSES OF A FURNITURE ENTERPRISE

The article considers the questions of automatizing the production and management processes of a furniture enterprise and clients' assistance in choosing the best furniture option considering individual preferences based on method of ranking the alternatives on degree of proximity to the best decision.

Key words: mathematical methods of decision making, furniture enterprise, trim model, optimization, ranking of alternatives, information system.

References

1. Grin'ko A. What today's buyer is focusing on when choosing furniture for home [Na chto segodnya orientiruetsya pokupatel' pri vybore mebeli dlya doma]. RBC. 2024. URL: <https://companies.rbc.ru/news/AwS2QnnFnZ/na-chto-segodnya-orientiruetsya-pokupatel-pri-vyibore-mebeli-dlya-doma/> (date of treatment: 10.06.2024).

2. Morozova A. Furniture production in Russia grew by 40 % over the year [Proizvodstvo mebeli v Rossii vyroslo na 40 % za god]. Forbes. 2024. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/507070-proizvodstvo-mebeli-v-rossii-vyroslo-na-40-za-god> (date of treatment: 10.06.2024).

3. How the Russian furniture market has changed in 2023 and what will happen next [Kak izmenilsya mebel'nyj rynek Rossii v 2023 godu i chto budet dal'she]. Retail.ru. 2024. URL: https://www.retail.ru/tovar_na_polku/kak-izmenilsya-mebelnyy-rynok-rossii-v-2023-godu-i-chto-budet-dalshe/ (date of treatment: 10.06.2024)

4. Linear programming models for solving cutting problems [Modeli linejnogo programmirovaniya dlya resheniya zadach raskroya]. Semestr.RU. 2024. URL: <https://math.semestr.ru/simplex/optimal-cutting.php> (date of treatment: 10.06.2024).

5. Bunakov P. Yu., Kaskevich N. V. New technologies of automated cutting materials for furniture production [Novye tekhnologii avtomatizirovannogo raskroya materialov dlya mebel'nogo proizvodstva]. Kolonna : MGOSGI, 2013. 275 p. (rus)

6. BAZIS-Gaskroj. URL: https://www.bazisoft.ru/products/bazis_raskroi (date of treatment: 10.06.2024).

7. Optimization of sheet material cutting [Optimizaciya raskroya listovyh materialov]. bCAD. 2024. URL: <https://propro.ru/ru/Products/bCUT/bcut.aspx> (date of treatment: 10.06.2024).

8. T-FLEX Cutting — Automatization of sheet material cutting [Raskroj — Avtomatizaciya raskroya listovyh materialov]. Top Systems. 2024 URL: <https://www.tflex.ru/products/priklad/raskr/> (date of treatment: 10.06.2024).

9. Program “Nowy Raskroj” for sheet material cutting [Programma «Novyj raskroj» dlya raskroya listovyh materialov]. spb-pro100. 2021. URL: http://spb-pro100.ru/programs/novyj_raskroj/ (date of treatment: 10.06.2024).

10. Halickaya K. Technology selection using Topsis method [Vybor tekhnologij s pomoshch'yu metoda Topsis]. Foresight. 2020. Vol. 14. No. 1. Pp. 85–96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-tehnologiy-s-pomoschyu-metoda-topsis> (date of treatment: 10.06.2024).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lepilo Natalya Nikolaevna, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Information Technologies Department

Donbass State Technical University

Alchevsk, Russia,

e-mail: nnlepilo@mail.ru

Martynenko Daniil Aleksandrovich, Candidate for a Master's Degree of the Information Technologies Department

Donbass State Technical University

Alchevsk, Russia