УДК 519.8
DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-46-53

Решение задачи оптимизации плана выпуска продукции машиностроительного предприятия с участием кредитной организации

Е. Н. Вахрушева, кандидат экономических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
С. В. Вологдин, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
М. С. Воробьев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
И. А. Вахрушев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
А. О. Набоков, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье реализовано решение задачи оптимизации плана выпуска продукции машиностроительного предприятия, которое учитывает совокупность таких факторов, как финансовые возможности предприятия, в том числе и возможность использования банковского кредита, производственная мощность предприятия, ограниченность ресурсов, а также неопределенность спроса в перспективе планирования на срок более трех месяцев. Данная задача решена в двух вариантах: когда процентная ставка банка является постоянной величиной (тогда математическая модель представляет собой задачу линейного программирования) и когда процентная ставка уменьшается с увеличением размера кредита (в этом случае математическая модель представляет собой задачу нелинейного программирования). Разработана программа для прогнозирования спроса на продукцию, в основу которого легли статистические данные о продажах машиностроительного предприятия за четыре года. Для прогнозирования были выбраны адаптивные методы ARMA, ARIMA и SARIMA. В каждом конкретном случае метод выбирается после анализа данных. Разработан алгоритм решения задачи оптимизации по двум сценариям: линейная и нелинейная, а также написана программа, реализующая этот алгоритм. Исходные данные решаемых задач учитывают стоимость продукции машиностроительного предприятия и информацию о том, что средняя маржинальная прибыль колеблется в пределах от 20 до 55 %. В качестве значений процентной ставки по кредиту как в линейной, так и в нелинейной модели была выбрана ставка ПАО «Сбербанк России». В программе, реализующей задачу оптимизации, есть возможность считывания исходных данных из документа Excel, что очень удобно в случае большого объема данных.

Ключевые слова: алгоритм, оптимизация, план, прогнозирование, спрос, машиностроение**.**

Введение

При построении производственного плана машиностроительного предприятия важно понимать, каким будет ожидаемый спрос на продукцию, какое количество продукции предприятие обязательно должно произвести в связи с текущими заказами, какое количество ресурсов необходимо для выполнения данного плана и насколько целесообразно привлечение финансовой организации. Целью работы является решение задачи оптимизации плана выпуска продукции машиностроительного предприятия, позволяющего ответить на все поставленные вопросы.

Постановка задачи

Пусть предприятие производит n видов продукции, вектор $x^* = \left(x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*\right)$ определяет прогноз спроса на продукцию, выпускаемую машиностроительным предприятием [1]. Здесь x_j^* – прогнозируемое количество j-го вида товара ($j = 1,...,n$), которое будет необходимо покупателям в течение ближайших k месяцев. Вектор $x = \left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)$ определяет план выпуска продукции на этот же временной период. Известно, что прибыль предприятия от реализации единицы j-го вида товара составляет c_j условных денежных единиц (у.д.е.), при этом для производства всех видов продукции необходимо m видов ресурсов. Через a_{ij} обозначим количество i-го ресурса, необходимое для производства единицы j-го вида товара ($i = 1, \ldots, m$; $j = 1, \ldots, n$). Тогда для выполнения плана всего i-го ресурса понадобится в количестве $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{in}x_n \ \forall i = 1, \ldots, m$.

Также стоит учитывать, что ресурсы ограничены. Пусть y_i – количество i-го ресурса, приобретаемое предприятием по цене d_i у.д.е. за единицу ресурса. Следовательно, на приобретение всех ресурсов требуется $\sum_{i=1}^{m} d_i y_i$ у.д.е. Тогда допустимым будет только такой набор производимой продукции $x = \left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)$, при котором суммарные затраты каждого вида i-го ресурса не превосходят его запаса:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le y_i \quad \forall i = 1,\dots,m. \qquad (1)$$

Машиностроительное предприятие может выделить на приобретение ресурсов собственные средства в размере q у.д.е., а также может взять кредит в банке в размере z у.д.е. В этом случае прибыль предприятия может быть выражена посредством следующей функции:

$$F(x,z) = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n - f(z), \qquad (2)$$

где $f(z)$ – функция, отражающая выплаты банку.

При этом общая сумма затрат на ресурсы не превосходит финансовых возможностей $q+z$:

$$\sum_{i=1}^{m} d_i y_i \le q + z. \qquad (3)$$

По смыслу задачи имеем следующие ограничения:

$$x_j \ge 0 \;\forall j = 1,\dots,n, \qquad (4)$$

$$y_i \ge 0 \;\forall i = 1,\dots,m, \qquad (5)$$

$$z \ge 0. \qquad (6)$$

Еще одним ограничивающим фактором является производственная мощность предприятия, которая определяет максимально возможный выпуск продукции за некоторый промежуток времени. Пусть вектор $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ задает предельные значения для выпуска продукции за один месяц. Тогда при нахождении оптимального плана производства на k месяцев вперед имеем:

$$x_j \le kp_j \;\forall j = 1,\dots,n. \qquad (7)$$

Очевидно, что предприятию невыгодно производить продукцию в количестве, превышающем предполагаемые объемы реализации. Отсюда получаем следующие ограничения:

$$x_j \le x_j^* \;\forall j = 1,\dots,n. \qquad (8)$$

Однако нужно учесть, что предприятие уже может иметь некоторый заказ $x' = (x_1', x_2', \dots, x_n')$ на рассматриваемый период времени. Например, машиностроительное завод, производящий оборудование и запасные части для предприятий нефтедобывающей отрасли, может составлять прогноз продаж на 2–3 месяца вперед на основе фактического спроса по договорам тендеров. Это будет минимальный план, который необходимо выполнить. Поэтому

$$x_j \ge x_j' \;\forall j = 1,\dots,n. \qquad (9)$$

Условия (4) в данном случае оказываются лишними, так как являются прямым следствием условий (9).

Также стоит отметить, что количество продукции, выпускаемое машиностроительным предприятием, может принимать только целые значения.

В результате получим модель оптимизации выпуска продукции с целевой функцией (2):

$$\begin{aligned}
&F(x,z) = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + \\
&\quad + c_nx_n - f(z) \to \max \\
&d_1y_1 + d_2y_2 + \ldots + d_my_m \le q + z, \\
&a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n \le y_1, \\
&a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n \le y_2, \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad (10) \\
&a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \le y_m, \\
&x_1 \le kp_1,\, x_2 \le kp_2, \ldots, x_n \le kp_n, \\
&x_1 \le x_1^*,\, x_2 \le x_2^*, \ldots, x_n \le x_n^*, \\
&x_1 \ge x_1',\, x_2 \ge x_2', \ldots, x_n \ge x_n' \\
&y_1 \ge 0,\, y_2 \ge 0, \ldots, y_m \ge 0, \\
&z \ge 0, \\
&x_1 \in \mathbb{Z},\, x_2 \in \mathbb{Z}, \ldots, x_n \in \mathbb{Z}.
\end{aligned}$$

Реализация решения задачи оптимизации осуществлена в двух вариантах: для нелинейной функции $f(z)$, задаваемой формулами (11), (12), и для линейной функции (13).

$$f(z) = \frac{30,4}{365} \cdot \frac{P(z)}{100} \cdot z \cdot k + \frac{z}{12\left(1 + \left[k/12 \right]\right)} \cdot k, \qquad (11)$$

где

$$P(z) = \begin{cases} 18, \text{ если } z \le 30; \\ 18,792 - 0,03z + 0,00012z^2, \text{ если } z > 30. \end{cases} \qquad (12)$$

$$f(z) = \frac{30,4}{365} \cdot \frac{P}{100} \cdot z \cdot k + \frac{z}{12\left(1 + \left[k/12 \right]\right)} \cdot k. \qquad (13)$$

В первом случае процент по кредиту составляет 18 %, если сумма кредита не превышает 30 млн руб. При увеличении суммы кредита процентная ставка уменьшается за счет скидок, предоставляемых банком. Тогда выплаты по кредиту будут описываться функцией (11), (12).

При необходимости параметры данной функции можно поменять в зависимости от условий банка. В данном случае в качестве параметров кредитования были взяты данные ПАО «Сбербанк России». На рис. 1 изображен график функции $P(z)$, определяющей процентную ставку.

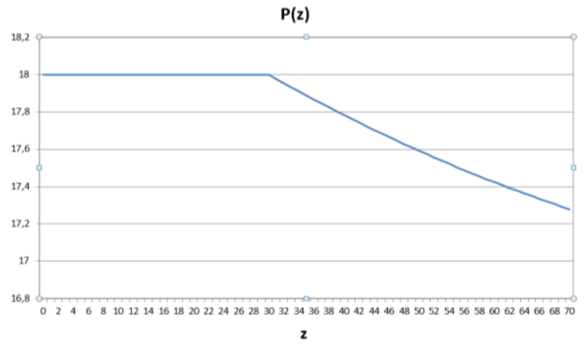

Рис. 1. Процент по кредиту в нелинейной функции

Fig. 1. Loan interest in a non-linear function

Во втором случае процент по кредиту P считается постоянной величиной и будет являться входным параметром при программной реализации решения задачи. Тогда выплаты по кредиту описываются функцией (13).

Методы решения

Для прогнозирования спроса на продукцию были составлены временные ряды по данным о продажах машиностроительного предприятия за четыре года [2]. Разработана программа для определения прогнозных значений спроса, использующая адаптивные методы прогнозирования ARMA, ARIMA и SARIMA [3–5]. В каждом конкретном случае метод выбирается после анализа данных [6]. Помимо получения самих прогнозных значений, программа позволяет визуализировать результат прогноза.

На рис. 2 и 3 изображен прогноз спроса на два вида продукции машиностроительного предприятия с периодом упреждения, равным 12 месяцам.

Рис. 2. График прогнозируемых значений для 1-го вида продукции

Fig. 2. A graph of predicted values for the 1st type of product

Задача (10)–(13) математически представляет собой задачу целочисленного линейного программирования [7]. Для ее решения использовался метод ветвей и границ [8]. Задача (10)–(11)–(12) является задачей нелинейной оптимизации с линейными ограничениями [9], поэтому для решения промежуточных задач оптимизации был выбран метод Франка – Вульфа [10].

Рис. 3. График прогнозируемых значений для 2-го вида продукции

Fig. 3. A graph of the predicted values for the 2nd type of product

Для решения промежуточных задач одномерной оптимизации используется метод золотого сечения, для определения целочисленного решения – метод ветвей и границ [11, 12].

Далее представлен алгоритм решения:

1) если выбрана задача (1)–(2)–(3), то идем на шаг 2, иначе на шаг 11;

2) получаем начальные значения: c, d, q, a, p, x^*, x' (решение алгоритмом Франка – Вульфа [13, 14]). Для решения задачи нелинейного программирования (ЗНП) методом Франка – Вульфа необходимо задать начальную точку $X^0 = \left(x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0, z^0\right)$, принадлежащую области допустимых решений [15];

3) задаем номер итерации $t = 0$;

4) вычисляем $\nabla F\left(X^t\right) = \left(c_1, c_2, \ldots, c_n, \dfrac{\partial F}{\partial z}\right)$;

5) если

$$\left\|\nabla F\left(X^t\right)\right\| = \sqrt{c_1^2 + c_2^2 + \ldots + c_n^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2} \le \varepsilon$$

(абсолютная погрешность), то $X^* \approx X^t$, далее шаг 10, иначе следующий шаг 6;

6) решаем задачу линейного программирования (ЗЛП) симплекс-методом:

$$\nabla F\left(X^t\right) \cdot \alpha \to \max$$

при ограничениях, описанных в задаче (1), где переменные $\left(x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0, z^0\right)$ заменяются на $\alpha = \left(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n, \alpha_{n+1}\right) \ge 0$. Получаем α^t – оптимальное решение;

7) решаем одномерную оптимизационную задачу методом золотого сечения: $\Phi(\beta) = F\left(X^t + \beta\left(\alpha^t - X^t\right)\right) \to \max\limits_{\beta}, \quad 0 \le \beta \le 1$;

8) вычисляем $X^{t+1} = X^t + \beta\left(\alpha^t - X^t\right)$;

9) если $\left\| X^{t+1} - X^{t} \right\| \le \varepsilon$ и $\left\| F\left(X^{t+1}\right) - F\left(X^{t}\right) \right\| \le \varepsilon$, то $X^{*} \approx X^{t+1}$, далее шаг 10, иначе $t = t + 1$, следующий шаг 4;

10) решаем методом ветвей и границ, пока $x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^* \notin \mathbb{Z}$. В результате получаем $\hat{x}_1^*, \hat{x}_2^*, \ldots, \hat{x}_n^*, z^*$ – оптимальное решение задачи (10)–(11)–(12);

11) получаем начальные значения: $c, d, q, a, p, x^*, x', \hat{p}, k$;

12) решаем ЗЛП симплекс-методом. Получаем $X^* = (x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*, z^*)$ – оптимальное решение;

13) решаем методом ветвей и границ, пока $x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^* \notin \mathbb{Z}$. В результате получаем $\hat{x}_1^*, \hat{x}_2^*, \ldots, \hat{x}_n^*, z^*$ – оптимальное решение задачи (10)–(13).

Результаты программной реализации алгоритма

Разработанный алгоритм решения поставленной задачи реализован на языке высокого уровня C# 9.0.

В качестве входных данных для программы используются:

- количество видов продукции (n);
- количество видов ресурсов (m);
- выбор модели оптимизации (линейная или нелинейная);
- период планирования (k месяцев);
- собственные средства предприятия, выделяемые на производство (q);
- стоимость ресурсов (d);
- стоимость продукции (c);
- фактический заказ по тендерам (x');
- прогнозные значения спроса, полученные в первой программе (x^*);
- нормы расходов ресурсов, необходимых для производства единицы продукции (a);
- производственные мощности предприятия (p).

Все исходные данные считываются из таблицы Excel. Пример 1 исходных данных, в котором 10 видов производимой продукции и 4 вида ресурса, приведен на рис. 4. В качестве денежной единицы выбран рубль. В первом столбце записывается количество видов продукции, количество ресурсов, выбор модели (1 – нелинейная или 2 – линейная), период планирования (количество месяцев), собственные средства предприятия, процентная ставка по кредиту для линейной модели (в случае нелинейной модели эта ячейка остается пустой), стоимость единицы каждого ресурса.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10	148198	167100	139714	157750	178770	137670	148050	263900	279500	177750
2	4										
3	2	9	8	19	3	2	1	3	7	4	5
4	12	31	10	52	11	10	17	13	11	12	59
5	8000000	10	4	7	5	9	6	5	6	7	8
6	18										
7	1300	8	2	12	12	7	11	19	6	20	11
8	1800	11	20	9	2	3	3	19	20	7	5
9	1400	13	2	19	9	11	12	16	18	11	6
10	1200	17	9	15	8	10	4	10	19	14	2

Рис. 4. Пример 1 таблицы с исходными данными

Fig. 4. Example 1 of a table with source data

Далее первая строка заполняется данными о стоимости продукции, выпускаемой предприятием, вторая строка остается пустой, в третьей строке – прогноз спроса, в четвертой – фактический заказ, в пятой – предельные значения, обусловленные производственной мощностью предприятия. Следующая строка остается пустой. Начиная с седьмой строки таблица заполняется нормами расходов ресурсов, необходимых для производства единицы продукции каждого вида. Строки соответствуют ресурсам, столбцы – производимой продукции. На рис. 5 представлена консоль ввода-вывода с исходными данными примера 1, то есть нахождения годового оптимального плана производства, в случае постоянной процентной ставки, равной 18 %. Полученное решение совпадает с решением этой же задачи в Excel.

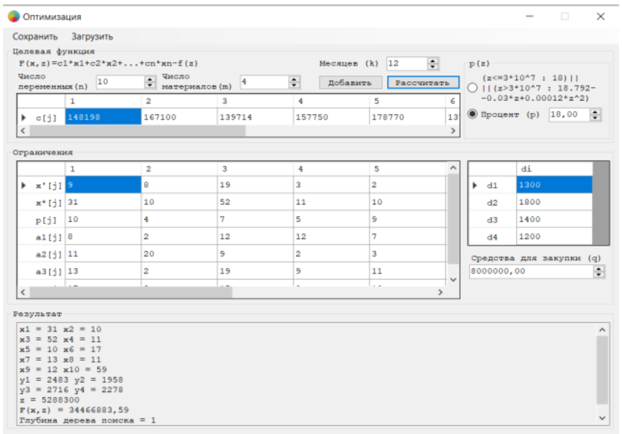

Рис. 5. Консоль ввода-вывода для примера 1 (ЗЛП)

Fig. 5. I/O console for Example 1 (LPP)

При этом имеется возможность корректировать все исходные данные на консоли ввода-вывода.

Для подбора исходных данных по двум сценариям использовались статистические данные о продажах и стоимости продукции машиностроительного предприятия, на основе которых был построен прогноз посредством первой программы. Также учитывался тот факт, что средняя маржинальная прибыль предприятия колеблется в пределах от 20 до 55 %.

В результате работы программы мы получили оптимальные значения плана выпуска продукции (x), необходимое для выполнения полученного плана количество ресурсов (y), а также минимальный размер кредита (z) и размер получаемой при этом прибыли $(F(x,z))$.

На рис. 6 представлена консоль ввода-вывода для примера 1 с меняющейся процентной ставкой. В этом случае решение идентично решению задачи с постоянной процентной ставкой, поскольку размер кредита меньше 30 млн руб.

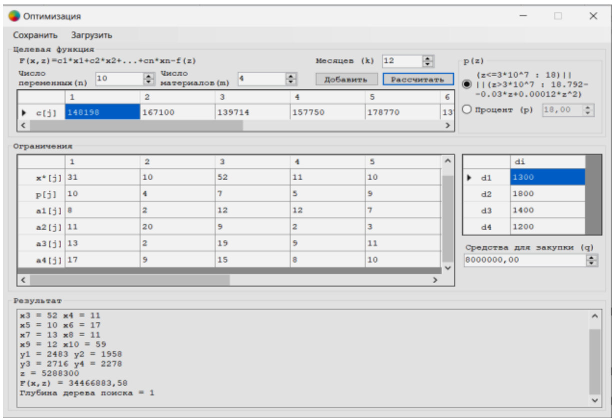

Рис. 6. Консоль ввода-вывода для примера 1 (ЗНП)

Fig. 6. I/O console for Example 1 (NLPP)

На рис. 7 и 8 представлено решение задачи примера 2 большей размерности – 12 видов производимой продукции, 30 видов ресурсов.

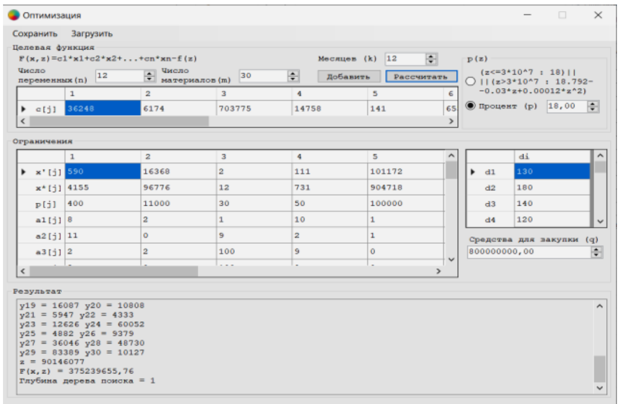

Рис. 7. Консоль ввода-вывода для примера 2 (ЗЛП)

Fig. 7. I/O console for Example 2 (LPP)

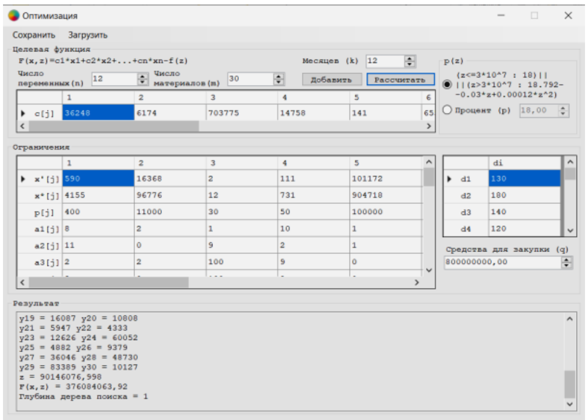

Рис. 8. Консоль ввода-вывода для примера 2 (ЗНП)

Fig. 8. I/O console for Example 2 (NLPP)

Для построения примера 2 использовались статистические данные машиностроительного предприятия. Период планирования составляет так же, как и в примере 1, 1 год. Причем в этом случае наша программа находит более оптимальное решение (375 240 тыс. руб.), чем надстройка «Поиск решения» в Excel, определяющая прибыль в размере 366 891 тыс. руб. Минимальный размер кредита составляет 90 146 тыс. руб., и это больше 30 млн руб. Соответственно, при меньшей процентной ставке в задаче нелинейной оптимизации (1)–(2)–(3) предприятие может получить большую прибыль в размере 376 084 тыс. руб.

В программе учитывается приоритет выполнения существующего заказа по договорам тендеров. При невозможности выполнения заказа в указанный период программа выдает соответствующее предупреждение (рис. 9). При составлении плана на 3 месяца оказалось невозможным выполнить заказ по 4-му виду продукции, так как производственные мощности позволяют произвести за один месяц 50 единиц продукта, а по заказам тендеров необходимо произвести 160 единиц. В этом случае программа определяет $x_4 = 150$, то есть максимально возможное значение. Аналогичная ситуация с 7-м и 10-м видом продукции. Значение целевой функции $F(x,z)$ получается равным 405 372 тыс. руб. Надстройка «Поиск решения» в Excel для этих же исходных данных находит другое решение, в котором значение прибыли равно 339 254 тыс. руб. Очевидно, наша программа находит более оптимальное решение.

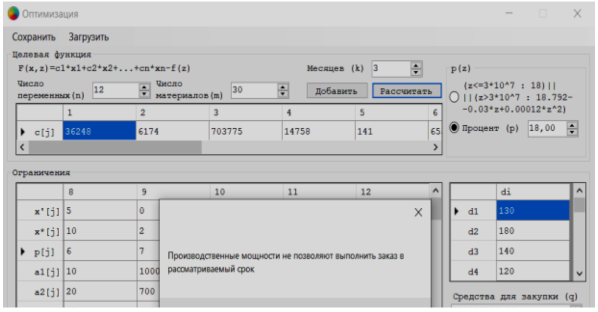

Рис. 9. Планирование на 3 месяца

Fig. 9. Planning for 3 months

Заключение

Решена задача оптимизации плана выпуска продукции машиностроительного предприятия в условиях неопределенности спроса. Вопрос неопределенности спроса решается путем построения адаптивных прогнозных моделей. Для оптимизации в нелинейной модели используется метод Франка – Вульфа. При этом целочисленное решение и в том и в другом случае определяется методом ветвей и границ. Разработан алгоритм решения задачи оптимизации по двум сценариям: с линейной целевой функцией и с нелинейной целевой функцией. По построенному алгоритму написана программа, позволяющая найти оптимальные значения таких показателей, как план выпуска продукции машиностроительного предприятия, объем ресурсов, необходимых для выполнения данного плана, количество заемных средств. В программе учитывается приоритет выполнения существующего заказа по договорам тендеров. При невозможности выполнения заказа в указанный период программа выдает соответствующее предупреждение.

Анализ результатов решения показал, что программная реализация разработанного алгоритма позволяет найти лучшее решение по сравнению с существующими общедоступными программами. Кроме того, в них не учитывается приоритет выполнения существующего заказа и при невозможности его выполнения в рассматриваемый период времени плановые значения могут оказаться ниже максимально возможных для производства.

Библиографические ссылки

1. *Петрусевич Д. А.* Анализ математических моделей, используемых для прогнозирования эконометрических временных рядов // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7, № 2 (28). С. 61–73. DOI 10.32362/2500-316X-2019-7-2-61-73.

2. Junchao Zhang, Yisheng Huang, Chengbiao Huang, Wei Huang Research on ARIMA Based Quantitative Investment Model // Academic Journal of Business & Management. 2022. Vol. 4, no. 17. Pp. 54-62. DOI 10.25236/ajbm.2022.041708.

3. Husham A., Abdul Razak B. Forecasting of Shatt al-Arab water levels using autoregressive models and Seasonal Moving Average (SARIMA) // Al Kut Journal of Economics Administrative Sciences. 2023. Vol. 15, no. 47. P. 154-172. DOI 10.29124/kjeas.1547.8.

4. Haoyu Liu, Zhibing Sun, Xi Liu Research on Financial Market Price Direction Based on ARIMA Model // Academic Journal of Business & Management. 2022. Vol. 4, no. 5. P. 57-60. DOI 10.25236/ajbm.2022.040512.

5. Vintu D. GDP Modelling and Forecasting Using ARIMA. An Empirical Assessment for Innovative Economy Formation // European Journal of Economic Studies. 2021. Vol. 10, No. 1. P. 29-44. DOI 10.13187/es.2021.1.29.

6. *Тарасова С. А.* Фактор ценности информации в адаптивном прогнозировании временных рядов // Информационные технологии. 2022. Т. 28, № 4. С. 219–224. DOI 10.17587/it.28.219-224.

7. *Воробьев М. С., Вахрушева Е. Н.* Оптимизация выпуска продукции и прогнозирование объемов реализации продукции машиностроительного предприятия в условиях неопределенности спроса: обзор исследований // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании. Молодежный научный форум: сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Ижевск. 25–26 мая 2023 г. С. 169–174.

8. Melnikov B., Melnikova E. On the Classical Version of the Branch and Bound Method // Компьютерные инструменты в образовании. 2022. No. 2. P. 41-58. DOI 10.32603/2071-2340-2022-2-41-58.

9. *Попова Т. М., Рохманин Д. А.* Применение математических методов решения задачи инвестиций // Far East Math - 2023: Материалы национальной научной конференции, Хабаровск, 04–09 декабря 2023 года. Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2024. С. 23–27.

10. Моделирование производственных программ интегрированных холдингов на двух уровнях / М. А. Горский, Д. А. Максимов Е. И., Смирнова, М. А. Халиков // Modern Economy Success. 2023. № 1. С. 213–220.

11. *Бирюк А. Н., Бирюков Д. В.* Экономико-математическая модель оптимизации финансовых и временных ресурсов для обеспечения экономической безопасности при эксплуатационном содержании объектов военной инфраструктуры // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 4. С. 13.

12. *Voronkin V. A.* Development of task batch execution optimization system in multi-stage systems using branch and bound method // Актуальные исследования. 2024. No. 12-1 (194). P. 31-40.

13. *Семахин А. М.* Метод Франка – Вульфа в моделировании информационных систем // Вестник Югорского государственного университета. 2024. Т. 20, № 2. С. 113–119. DOI 10.18822/byusu202402113-119.

14. *Лобанов В. С.* Метод линеаризации для задач условной оптимизации. Алгоритм Франка – Вульфа // Молодой ученый. 2020. № 3 (293). С. 8–12.

15. *Айвазян Г. В., Стонякин Ф. С., Пасечнюк Д. А.* Адаптивный вариант алгоритма Франка – Вульфа для задач выпуклой оптимизации // Программирование. 2023. № 6. С. 14–26. DOI 10.31857/S0132347423060031.

References

1. Petrusevich D. A. [Analysis of mathematical models used for forecasting econometric time series]. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal*, 2019, vol. 7, no 2, pp. 61-73. DOI 10.32362/2500-316X-2019-7-2-61-73 (in Russ.).

2. Junchao Zhang, Yisheng Huang, Chengbiao Huang, Wei Huang [Research on ARIMA Based Quantitative Investment Model] *Academic Journal of Business & Management*, 2022, vol. 4, no 17, pp. 54-62. DOI 10.25236/ajbm.2022.041708.

3. Husham A., Abdul Razak B. [Forecasting of Shatt al-Arab water levels using autoregressive models and Seasonal Moving Average (SARIMA)] *Al Kut Journal of Economics Administrative Sciences*, 2023, vol. 15, no 47, pp. 154-172. DOI 10.29124/kjeas.1547.8.

4. Haoyu Liu, Zhibing Sun, Xi Liu [Research on Financial Market Price Direction Based on ARIMA Model] *Academic Journal of Business & Management*, 2022, vol. 4, no. 5, pp. 57-60. DOI 10.25236/ajbm.2022.040512.

5. Vintu D. GDP [Modelling and Forecasting Using ARIMA. An Empirical Assessment for Innovative Economy Formation] *European Journal of Economic Studies*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 29-44. DOI 10.13187/es.2021.1.29.

6. Tarasova S.A. [Information Value Factor in Adaptive Time Series Forecasting]. *Informatsionnye tehnologii*, 2022, vol. 28, no 4. Pp. 219-224. DOI 10.17587/it.28.219-224 (in Russ.).

7. Vorobev M.S., Vachrusheva E.N. [Optimization of output and forecasting of sales volumes of a machine-building enterprise in conditions of demand uncertainty: a review of research]. *Informatsijnnye tehnologii v nauke, promyshlennosti I obrazovanii. Molodezhnyi nauchnyi forum: sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii. Izhevsk,* 25-26 maya 2023, pp. 169-174 (in Russ.).

8. Melnikov B., Melnikova E. [On the Classical Version of the Branch and Bound Method]. *Komputernie instrumenti v obrazovanii,* 2022, no. 2, pp. 41-58. DOI 10.32603/2071-2340-2022-2-41-58 (in Russ.).

9. Popova T. M., Rokhmanin D. A. [Application of mathematical methods for solving investment problems]. *Far East Math 2023: Materiali natsionalnoi nauthnoi konferentsii, Habarovsk, 04–09 dekabrya 2023 goda. – Habarovsk: Tihookeanskii gosudarstvennii universitet*, 2024, pp. 23-27 (in Russ.).

10. Gorskiy M.A., Maksimov D.A., Smirnova E.I., Khalikov M.A. [Modeling of production programs of integrated holdings at two levels]. *Modern Economy Success*, 2023, no. 1, pp. 213-220 (in Russ.).

11. Biryuk A.N., Biryukov D.V. [Economic and mathematical model for optimizing financial and time resources to ensure economic security during operational maintenance of military infrastructure facilities]. *Vestnik evraziyskoy nauki*, 2022, vol. 14, no. 4, p. 13 (in Russ.).

12. Voronkin V.A. [Development of task batch execution optimization system in multi-stage systems using branch and bound method]. *Aktualnie issledovanija,* 2024, no. 12-1, pp. 31-40 (in Russ.).

13. Semahin A.M. [Frank-Wulff method in modeling information systems]. *Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2024, vol. 20, no. 2, pp. 113-119. DOI 10.18822/byusu202402113-119 (in Russ.).

14. Lobanov V. S. [Linearization method for constrained optimization problems. Frank-Wulff algorithm]. *Molodoy ucheniy*, 2020, no. 3(293), pp. 8-12 (in Russ.).

15. Ayvazjan G.S., Stonjakin F.S., Pasechnjuk D.A. [An adaptive version of the Frank-Wulff algorithm for convex optimization problems]. *Programmirovanie*, 2023, no. 6, pp. 14-26. DOI 10.31857/S0132347423060031 (in Russ.).

* * *

Production Plan Optimization Solution of a Machine-building Enterprise with Assisted by a LendingInstitution

E. N. Vakhrusheva, PhD Econimics, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
S. V. Vologdin, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
M. S. Vorobev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
I. A. Vakhrushev, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University,Izhevsk, Russia
A. O. Nabokov, Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The article implements a solution to theproduction planoptimizationproblem of a machine-building enterprise, with regard to a combination of factors such as enterprise financial capabilities, including the possibility of using a bank loan, the enterprise production capacity, limited resources, as well as the uncertainty of demand in the perspective of planning for a period of more than three months. This problem is solved in two ways: when the bank interest rate is a constant value (then the mathematical model is a linear programming problem), and when the interest rate *decreases with increasing loan size (in this case, the mathematical model is a nonlinear programming problem). A program has been developed to predict the demand for products, which is based on statistical data on machine-building enterprise sales during four years. Adaptive methods ARMA, ARIMA and SARIMA were chosen for forecasting. In each case, the method is selected after data analyzing. An algorithm for optimization problem solution in two scenarios has been developed: linear and nonlinear, and a program implementing this algorithm has been developed. The initial data of the tasks being solved take into account the cost of the machine-building enterprise products and the information that the average margin profit ranges from 20 to 55 percent. The interest rate of PJSC «Sberbank of Russia» was chosen as the values of the loan interest rate, both in the linear and non-linear models. The program that implements the optimization task has the ability to read the source data from an Excel document, which is very convenient in case of a large amount of data.*

Keywords: algorithm, optimization, plan, forecasting, demand, mechanical engineering.

Получено: 10.10.24

Образец цитирования

Решение задачи оптимизации плана выпуска продукции машиностроительного предприятия с участием кредитной организации / Е. Н. Вахрушева, С. В. Вологдин, М. С. Воробьев, И. А. Вахрушев, А. О. Набоков // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 1. С. 46–53. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-46-53.

For Citation

Vakhrusheva E.N., Vologdin S.V., Vorobev M.S., Vakhrushev I.A., Nabokov A.O. [Solving the problem of optimizing the production plan of a machine-building enterprise with the participation of a credit institution]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve.* 2025, vol. 23, no. 1, pp. 46-53. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-46-53.