УДК 658.5
DOI: 10.37890/jwt.vi80.508

Решение задач объёмно-календарного планирования для предприятий судостроения в условиях ограниченности ресурсов

М.Х. Прилуцкий
ORCID: 0000-0002-7694-3916
Е.А. Кумагина
ORCID: 0000-0002-5199-8814
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года и дальнейшую перспективу направлена на создание новой конкурентоспособной судостроительной промышленности на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации производственных мощностей, их модернизации и технического перевооружения [1]. Работа посвящена решению задач объёмно-календарного производственного планирования для предприятий судостроения при согласовании производственных мощностей предприятия с потребностями ресурсов для выполнения обязательств, определяемых формируемым портфелем заказов. Предприятия судостроения и судоремонта являются типичными представителями предприятий с единичным и мелкосерийным характером производства и длительным циклом изготовления основной продукции [2-4]. Задача решается на стадии формирования портфеля заказ, в основе которого лежат ограниченные объёмы доступных производственной системе ресурсов. Требуется определить потребность в объёмах недостающих ресурсов по календарным периодам, необходимых для эффективного функционирования производственной системы. В качестве ресурсов, которые рассматриваются при решении задач объемного или объемно-календарного планирования обычно рассматриваются нескладируемые ресурсы – трудовые ресурсы, фонд времени работы оборудования, т.е. такие ресурсы, которые будучи не использованные в некотором такте планирования, в последующих тактах использоваться не могут. Процедура поиска недостающих объёмов ресурсов формально ставится как задача приведения несовместной системы линейных двусторонних алгебраических неравенств к совместному виду. Для этого предлагается «расширить» исходные параметры системы, с учетом затрат на расширение, чтобы система стала совместной. В общем случае формально, рассматриваемая задача близка задаче поиска чебышевской точки [5] для несовместной системы линейных алгебраических уравнений, точки, которая геометрически является наименее уклоняющейся по модулю от всех гиперплоскостей, образуемых ограничениями системы. В работе предлагаются постановки и решения задач объёмно-календарного планирования для случая, когда структура ограничений задачи моделируется корневым ориентированным взвешенным деревом. Такая иерархическая структура типична для судостроительных предприятий [6].

Ключевые слова: производственное планирование, объёмно-календарное планирование, распределение ресурсов, система линейных двусторонних алгебраических неравенств, несовместность системы линейных алгебраических неравенств.

Solving problems of volume-calendar planning for shipbuilding enterprises in limited resources conditions

Mikhail Kh. Prilutskii
ORCID: 0000-0002-7694-3916
Elena A. Kumagina
ORCID: 0000-0002-5199-8814
National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The shipbuilding industry development strategy for the period up to 2035 and beyond is aimed at creating a new competitive shipbuilding industry based on the development of scientific, technical and personnel potential, production capacities optimization, their modernization and technical re-equipment [1]. The paper is devoted to solving problems of volume-calendar production planning for shipbuilding enterprises when coordinating the production capacity of the enterprise with the resource needs to fulfill obligations determined by the generated order portfolio. Shipbuilding and ship repair enterprises are typical representatives of enterprises with single and small-scale production and a long production cycle of the main products [2-4]. The problem is solved at the stage of forming an order portfolio, which is based on the limited volumes of resources available to the production system. It is required to determine the amount of missing resources by calendar periods that are necessary for effective production system functioning. Non-stored resources such as labor resources, equipment operating time, are usually taken into account when solving the problems of volumetric or volume-calendar planning. Such resources being unused in a certain planning cycle cannot be used in subsequent cycles. The procedure for finding missing volumes of resources is formulated as the problem of reducing an incompatible system of linear two-sided algebraic inequalities to a compatible one. To do this, it is proposed to “expand” the initial system parameters, considering expansion costs, so that the system becomes compatible. In the general case, formally, the problem under consideration is close to the problem of finding a Chebyshev point [5] for an incompatible system of linear algebraic equations, i.e. a point that is geometrically the least deviating from all hyperplanes formed by the system constraints. The paper proposes statements and solutions of volume-calendar problems for the case when the structure of the problem constraints is modeled by a root-oriented weighted tree. This hierarchical structure is typical for shipbuilding enterprises [6].

Keywords: production planning, volume scheduling, resource allocation, system of linear two-sided algebraic inequalities, incompatibility of the system of linear algebraic inequalities.

Задача объемно-календарного планирования

В задаче объемно-календарного планирования требуется распределить общий план предприятия по различным показателям – заказам, изделиям, комплектам, узлам, подузлам, деталям, а также по тактам планирования и подразделениям предприятия. План предприятия в задачах объемно-календарного планирования задается в объёмных показателях – нормо-часах. Тактами планирования в зависимости от общего горизонта планирования могут быть недели, декады, месяца, кварталы, года. Формально задача объёмно-календарного планирования может быть поставлена как задача определения таких объёмов работ, которые будут выполнены в каждом подразделении в каждый такт планирования, для которых достаточно ресурсов, выполняются ограничения, связанные с заданными показателями искомого плана и достигают экстремальные значения критерии, определяющие условия эффективного функционирования производственной системы. В общем случае она формализуется в виде системы линейных двусторонних алгебраических неравенств транспортного типа (коэффициенты матрицы ограничений принимают значения из множества {-1, 0, 1}).

Пусть I – множество номеров подразделений предприятия, J – множество номеров заказов, K – множество номеров изделий, S – множество номеров деталей, T – множество номеров тактов планирования.

Обозначим через a^{-}_{ijkst} и a^{+}_{ijkst} – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов работ, запланированных к выполнению в подразделении i по заказу j изделию k детали s в такт планирования t, $0 \le a^{-}_{ijkst} \le a^{+}_{ijkst}, i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T$; B^{-}_{jkst} и B^{+}_{jkst} – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов работ, запланированных к выполнению по заказу j изделию k детали s в такт планирования $t, 0 \le B^{-}_{jkst} \le B^{+}_{jkst}$; C^{-}_{kst} и C^{+}_{kst} – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов работ, которые должны быть выполнены по изделию k детали s в такт планирования t, $0 \le C^{-}_{kst} \le C^{+}_{kst}$; D^{-}_{kt} и D^{+}_{kt} – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов работ, которые должны быть выполнены в такт t по изделию $k, 0 \le D^{-}_{kt} \le D^{+}_{kt}$; E^{-}_{t} и E^{+}_{t} – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов работ, которые должны быть выполнены всеми подразделениями в такт t в планируемом периоде, $0 \le E^{-}_{t} \le E^{+}_{t}$; $0 \le G^{-} \le G^{+}$ – количество ресурсов, необходимых для выполнения минимального и максимального объёмов запланированных работ; $i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T$.

При этом необходимо заметить, что соответствующие минимальные и максимальные значения в общем случае могут совпадать. Тогда формально математическая модель проблемы объёмно-календарного планирования для подразделений предприятия может быть поставлена как система линейных двусторонних алгебраических неравенств транспортного типа относительно переменных x_{ijkst} – количество ресурсов, необходимых для выполнения объёмов работ, которые будут выполнены в подразделении i по заказу j изделию k детали s в такт планирования t, $i \in I, j \in J, k \in K, s \in s, t \in T$:

$$G^{-} \le \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ijkst} \le G^{+} \qquad (1)$$

(ограничения на количество ресурсов, необходимых для выполнения общего объема запланированных работ),

$$E^{-}_{t} \le \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} x_{ijkst} \le E^{+}_{t}, t \in T \qquad (2)$$

(ограничения на количество ресурсов, необходимых для выполнения запланированных объемов работ, которые должны быть выполнены по тактам планирования),

$$D^{-}_{kt} \le \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijkst} \le D^{+}_{kt}, k \in K, t \in T \qquad (3)$$

(ограничения на количество ресурсов, необходимых для выполнения объёмов работ, которые должны быть выполнены по изделиям в заданные такты планирования),

$$C^{-}_{kst} \le \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijkst} \le C^{+}_{kst}, k \in K, s \in S, t \in T \qquad (4)$$

(ограничения на количество ресурсов, необходимых для выполнения запланированных объёмов работ по изделиям, деталям в заданные такты планирования),

$$B^{-}_{jkst} \le \sum_{i\in I} x_{ijkst} \le B^{+}_{jkst}, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T \quad (5)$$

(ограничения на количество ресурсов, необходимых для выполнения запланированных объёмов работ во всех подразделениях по заказам, изделиям, деталям и тактам планирования),

$$a^{-}_{ijkst} \le x_{ijkst} \le a^{+}_{ijkst}, i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T \quad (6)$$

(естественные условия на переменные, формализующие требования запрета выпуска внеплановой продукции).

Постановка задачи

Рассмотрим сокращенную запись системы ограничений транспортного типа в общем виде:

$$A_l \le \sum_{j\in Q_l} x_j \le B_l, l \in L. \quad (7)$$

Здесь Q_l – множество индексов, по которым происходит суммирование.

Система ограничений (1)-(6) представима в предложенной здесь записи. Например, ограничения (4) будет задаваться условиями: $Q_l = \{i, j\}$, т.е. суммирование по индексам i и j, $A_l = C^{-}_{kst}$, $B_l = C^{+}_{kst}$, $k \in K, s \in S, t \in T$.

Пусть система ограничений (7) несовместна. Рассмотрим следующую задачу линейного программирования. Введем дополнительные элементы системы: переменные y_l и z_l, коэффициенты c_l и d_l, определяющие штрафные санкции, которые понесет система соответственно за единицу объема высвобожденного ресурса за счет уменьшения объема выполняемых работ или за единицу объема неиспользованного ресурса.

Задача 1

$$A_l - y_l \le \sum_{j\in Q_l} x_j \le B_l + z_l, l \in L.$$

$$x_j \ge 0, y_l \ge 0, z_l \ge 0, j \in Q_l, l \in L.$$

$$\sum_{l\in L} c_l y_l + \sum_{l\in L} d_l z_l \to min.$$

Из условий задачи 1 следует, что если одновременно обе переменные с одним и тем же индексом принимают в оптимальном решении задачи 1 нулевые значения, то соответствующее ограничение выполняется. Если в оптимальном решении задачи 1 переменная $y_l > 0$, а переменная $v_l = 0$, то это означает, что предприятие должно уменьшить объем соответствующих работ, потребляющих ресурсы в объеме y_l, при этом система понесет потери на величину $c_l y_l$. Если в оптимальном решении задачи 1 переменная $y_l = 0$, а переменная $v_l > 0$, то это означает, что соответствующего ресурса для выполнения запланированных работ недостаточно, и необходимо увеличить объем доступного ресурса на величину v_l за счет введения дополнительных смен или привлечения контрагентов, при этом система понесет потери на величину $d_l v_l$. Вариант, когда в оптимальном решении задачи обе переменные будут положительны можно исключить, т.к. этого не может быть, если коэффициенты c_l и d_l различны, а в случае равенства коэффициентов может быть выбран любой вариант, описанный выше.

Пусть система ограничений задачи 1 соответствует системе (1)-(6). В этом случае задача 1 является задачей линейного программирования, в которой переменных x_{ijkst}, $i \in I,\ j \in J,\ k \in K,\ s \in S,\ t \in T$ равно $N=|I| * |J| * |K| * |S| * |T|$. Для реальных производственных систем величина N может превышать десятки миллионов, поэтому применение для решения задачи 1 известных методов линейного программирования и программных средств затруднительно.

Не трудно заметить, что для системы ограничений (1)-(6) выполняются условия:

$$I \cup J \cup K \cup S \cup T \subseteq J \cup K \cup S \cup T \subseteq K \cup S \cup T \subseteq K \cup T \subseteq T \subseteq \emptyset, \qquad (8)$$

из которых следует, согласно [7], что система (1)-(6) моделируется взвешенным корневым ориентированным деревом, в котором ограничения (1) соответствуют корню дерева, ограничения (6) – листьям, ограничения (2)-(5) – промежуточным вершинам дерева.

В системе распределяется однородный ресурс от корня дерева (центр системы) до листьев (потребители ресурса) через вершины, передающие ресурс. Центр может передать ресурса в объеме от G^- до G^+, листья могут приобретать ресурс в объеме из интервала $\left[a^-_{ijkst},\ a^+_{ijkst}\right]$, а промежуточные вершины – транслировать ресурс в объемах, ограниченных левыми и правыми границами соответствующих ограничений (2)-(5). Введенные параметры c_l и d_l определяют штрафные санкции соответственно за увеличение нижней и уменьшение верхней границы соответствующей вершины дерева. Тем самым математическая модель объемного планирования формализуется как система распределения однородного ограниченного ресурса в ориентированном корневом взвешенном дереве.

Определим величины:

$$B^{p-}_{jkst} = max(B^-_{jkst}, \textstyle\sum_{i\in I} a^-_{ijkst}),\ B^{p+}_{jkst} = min(B^+_{jkst}, \textstyle\sum_{i\in I} a^+_{ijkst});$$
$$C^{p-}_{kst} = max(C^-_{kst}, \textstyle\sum_{j\in J} B^{p-}_{jkst}),\ C^{p+}_{kst} = min(C^+_{kst}, \textstyle\sum_{j\in J} B^{p+}_{jkst});$$
$$D^{p-}_{kt} = max(D^-_{kt}, \textstyle\sum_{S\in S} C^{p-}_{kst}),\ D^{p+}_{kt} = mi\,n\left(D^+_{kt}, \textstyle\sum_{S\in S} C^{p+}_{kst}\right);$$
$$E^{p-}_{t} = max(E^-_{t}, \textstyle\sum_{k\in K} D^{p-}_{kt}),\ E^{p+}_{t} = min(E^+_{t}, \textstyle\sum_{k\in K} D^{p+}_{kt});$$
$$G^{p-} = max\left(G^-, \textstyle\sum_{t\in T} E^{p-}_{t}\right),\ G^{p+} = min\left(G^+, \textstyle\sum_{t\in T} E^{p+}_{t}\right);$$
$$j \in J, k \in K, s \in S, t \in T.$$

Теорема «о приведенных границах» [7]. Система ограничений (1)-(6) совместна тогда и только тогда, когда

$G^{p-} \le G^{p+},\ E^{p-}_t \le E^{p+}_t,\ D^{p-}_{kt} \le D^{p+}_{kt},\ C^{p-}_{kst} \le C^{p+}_{kst},\ B^{p-}_{jkst} \le B^{p+}_{jkst},\ j \in J,\ k \in K,\ s \in S,\ t \in T.$

Здесь величины с верхними индексами p^- и p^+ будем называть, как и в [7], «приведенными нижними и верхними границами», а процедуру их нахождения – «алгоритмом приведенных границ».

Согласно теореме о приведенных границах, если хотя бы одно неравенство теоремы нарушается, то система ограничений оказывается несовместной. Графовое представление системы ограничений (1)-(6) позволяет решать задачу 1, используя алгоритм приведенных границ.

Процедура преобразования несовместной системы ограничений в совместную систему ограничений

Алгоритм решения задачи 1 с ограничениями (1)-(6) работает следующим образом. Применим к исходному дереву алгоритм приведенных границ. Если условия теоремы выполняются, то система (1)-(6) совместна. Пусть в одной или нескольких вершинах дерева нарушаются условия теоремы – левая граница превосходит правую. Поднимаясь от листьев к центру находим вершину, в которой нарушено условие теоремы. Рассмотрим поддерево с этой вершиной, которую принимаем за корневую. В этой вершине левая приведенная граница оказалась больше правой приведенной границы. Пусть w – величина разности значений левой и правой границ. Здесь возможны следующие варианты перехода от несовместной системы (1)-(6) к совместной за счет *уменьшения значения левой границы* нарушенного ограничения на величину w, или *увеличения значения правой границы* на эту же величину. Не трудно показать, что так как во всех вершинах поддерева (кроме корневой) условия теоремы выполнены, то существует допустимое распределение ресурсов в рассматриваемом поддереве при любом варианте, в каждом из которых значение правой границы корневой вершины поддерева совпадает со значением левой границы этой вершины.

Решение для рассматриваемого поддерева может быть найдено следующим образом. Пусть левая граница корневой вершины равна R и больше правой границы на величину w. Зная значение – количество ресурса, которые пройдут через корневую вершину – при *варианте увеличения значения правой границы* присваиваем значения листьям дерева, равные значениям правых границ, а затем, если количество ресурса, соответствующее корневой вершине больше величины R, то уменьшаем значения ресурсов для листьев с учетом коэффициентов c_l. При этом для каждой вершины находим значение штрафа. При *варианте уменьшения значения левой границы* присваиваем значения листьям дерева, равные значениям левых границ, а затем, если количество ресурса, соответствующее корневой вершине меньше величины R, то увеличиваем значения ресурсов для листьев с учетом коэффициентов d_l.

Выполнение условий теоремы о приведенных границах гарантирует, что решение для корневого дерева найдется и для первого, и для второго вариантов. Так, как и для первого и для второго варианта можно подсчитать суммарные затраты, то в качестве решения для рассматриваемого поддерева выбирается результат с меньшими затратами. Закрепив полученное решение для поддерева – вновь применяем для преобразованного дерева теорему о приведенных границах и если условия теоремы выполняются, то исходная задача 1 с ограничениями (1)-(6) решена, если нет – находим поддерево с нарушенными значениями и повторяем процедуру преобразования несовместной подсистемы в совместную.

Заключение

В работе рассмотрена проблема объемно-календарного производственного планирования для судостроительных предприятий в условиях ограниченности ресурсов. При формировании портфеля заказов требуется определять потребность производственной системы в ресурсах, необходимых для изготовления изделий по календарным периодам. Формально поставлена задача объемно-календарного планирования в условиях ограниченности ресурсов. Используя метод приведенных границ, предложен алгоритм ее решения для случая древовидной иерархической структуры, соответствующей производству изделий судостроительных предприятий. Полученные в работе результаты легли в основу Программного модуля объемного планирования [8], который может использоваться в практике производства и ремонта изделий судостроения.

Список литературы

1. Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 г.: распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 2553-р // Правительство России: официальный сайт. URL:

http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H2KQqmi1D7S7.pdf (дата обращения: 19.05.2024).
2. Потрясаев С.А. Программно-математическое обеспечение расчета производственных планов судостроительного предприятия/ С.А. Потрясаев, Е.Е. Щербакова, Ю.В. Коноплев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2022. – Т. 65, № 12. – С. 925-929.
3. Прилуцкий М.Х. Многокритериальные многоиндексные задачи объёмно-календарного планирования // Известия Академии наук. Теория и системы управления. – 2007. – №1. – С. 78-82.
4. Прилуцкий М.Х. Оптимальные стратегии распределения разнородных ресурсов в сетевых канонических структурах / М.Х. Прилуцкий, Е.А. Кумагина // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – №1(55). – С. 60-64.
5. Немировский А.С. Сложность задач и эффективность методов оптимизации / А.С. Немировский, Д.Б. Юдин – М.: Наука, 1979. – 384 с.
6. Карышева А.А. Программное планирование развития научно-технического потенциала судостроительной отрасли с использованием метода анализа иерархий / А.А. Карышева, И.В. Карышев // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2018. – специальный выпуск 1. – С. 252–258.
7. Прилуцкий М.Х. Распределение однородного ресурса в иерархических системах древовидной структуры // Труды международной конференции «Идентификация систем и задачи управления SICPRO’2000». – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2000. – С. 2038–2049.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667803 Российская Федерация. «Программный модуль объемного планирования»: № 2023666865: заявл. 09.08.2023: опубл. 18.08.2023 / М.Х. Прилуцкий, Н.В. Старостин, Л.Г. Афраймович [и др.].

References

1. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sudostroitel'noj promyshlennosti na period do 2035 g.: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 oktyabrya 2019 g. № 2553-r // Pravitel'stvo Rossii: oficial'nyj sajt. URL: http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H2KQqmi1D7S7.pdf (data obrashcheniya: 19.05.2024)
2. Potryasaev S.A. Programmno-matematicheskoe obespechenie rascheta proizvodstvennyh planov sudostroitel'nogo predpriyatiya/ S.A. Potryasaev, E.E. Shcherbakova, YU.V. Konoplev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. – 2022. – T. 65, № 12. – C. 925-929.
3. Priluckii M.Kh. Mnogokriterial'nye mnogoindeksnye zadachi ob"yomno-kalendarnogo planirovaniya // Izvestiya Akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. – 2007. – №1. – S. 78-82.
4. Priluckii M.Kh. Optimal'nye strategii raspredeleniya raznorodnyh resursov v setevyh kanonicheskih strukturah / M.Kh. Priluckii, E.A. Kumagina // Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii. – 2014. – №1(55). – C. 60-64.
5. Nemirovskij A.S. Slozhnost' zadach i effektivnost' metodov optimizacii / A.S. Nemirovskij, D.B. YUdin – M.: Nauka, 1979. – 384 s.
6. Karysheva A.A. Programmnoe planirovanie razvitiya nauchno-tekhnicheskogo potenciala sudostroitel'noj otrasli s ispol'zovaniem metoda analiza ierarhij / A.A. Karysheva, I.V. Karyshev // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. – 2018. – special'nyj vypusk 1. – S. 252–258.
7. Priluckii M.Kh. Raspredelenie odnorodnogo resursa v ierarhicheskih sistemah drevovidnoj struktury // Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Identifikaciya sistem i zadachi upravleniya SICPRO’2000». – M.: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN. – 2000. – C. 2038–2049.
8. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2023667803 Rossijskaya Federaciya. «Programmnyj modul' ob"emnogo planirovaniya»: № 2023666865: zayavl. 09.08.2023: opubl. 18.08.2023 / M. Kh. Priluckii, N.V. Starostin, L.G. Afrajmovich [i dr.].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Прилуцкий Михаил Хаимович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и автоматизации научных исследований, Нижегородский государственный университета им. Н.И.Лобачевского (ННГУ), 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 6, к. 109, e-mail: pril@iani.unn.ru

Mikhail Kh. Prilutskii, Doctor of Science, professor, the head of Information Science and Scientific researches automation Chair, Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod (UNN), 603000, Nizhniy Novgorod, Gagarin av., 23/6, office 109, e-mail: pril@iani.unn.ru

Кумагина Елена Александровна, к.т.н., доцент кафедры информатики и автоматизации научных исследований, Нижегородский государственный университета им. Н.И.Лобачевского (ННГУ), 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 6, к. 109, e-mail: elena.kumagina@itmm.unn.ru

Elena A. Kumagina, PHD, associate professor of chair Information Science and Scientific researches automation Chair, Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod (UNN), 603950, Nizhniy Novgorod, Gagarin av., 23/6, office 109, e-mail: elena.kumagina@itmm.unn.ru

Статья поступила в редакцию 21.05.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 21.05.2024; published online 20.09.2024.