DOI 10.22394/1726-1139-2018-11-109-118

Модель и метод календарного планирования логистических процессов перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса

Родионова Е. С.[1, *], *Сауренко Т. Н.*[2], *Анисимов В. Г.*[3], *Анисимов Е. Г.*[2]

[1]Санкт-Петербургский им. В. Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, Санкт-Петербург, Российская Федерация; *wart1983@mail.ru

[2]Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

[3]Санкт-Петербургский государственный технический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

РЕФЕРАТ

Разработаны модель и метод формирования оптимальных календарных планов организации логистических процессов функционирования перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса (АПК). Модель основана на представлении процедуры формирования оптимального календарного плана в виде задачи дискретного программирования. В основу метода оптимизации положена процедура ветвей и границ. Предлагаемые модель и метод являются базой для создания конкретных методик формирования оптимальных календарных планов организации логистических процессов функционирования предприятий АПК.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, предприятие, календарный план, оптимизация, модель, метод

Model and Method of Calendar Planning of Logistic Processes of Enterprises of Agricultural Complex

Evgenia S. Rodionova[a,*], *Tatyana N. Saurenko*[b], *Vladimir G. Anisimov*[3], *Evgeny G. Anisimov*[b]

[a]Saint-Petersburg named by V. B. Bobkov branch of the Russian Customs Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation; *wart1983@mail.ru

[b]Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

[c]Saint-Petersburg State Technical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

A model and method for the formation of optimal calendar plans for the organization of logistics processes for the functioning of enterprises of the agro-industrial complex have been developed. The model is based on the presentation of the procedure for the formation of an optimal calendar plan in the form of a discrete programming problem. The optimization method is based on the procedure of branches and boundaries. The proposed model and method are the basis for creating specific methods for the formation of optimal calendar plans for the organization of logistical processes of the functioning of the agro industrial complex.

Keywords: agro-industrial complex, enterprise, the schedule optimization, model, method

Особенностью функционирования существенной доли перерабатывающих предприятий АПК является то, что они удалены от источников сырья, энергии и потребителей конечной продукции. При этом существенная доля их продукции имеет ограниченные сроки годности. Это обусловливает необходимость согласования по времени логистических процессов производства, хранения и реализации продукции. Территориальная разнесенность и сложность логистической системы указанных предприятий, а также существенные издержки, обусловленные несогласованностью процессов производства, хранения и доведения продукции до потребителей, приводят к тому, что решения по согласованию логистических процессов их функционирования должны опираться не только на опыт и интуицию, но и на объективные обоснования. Инструментом объективного обоснования этих решений могут быть соответствующие математические модели и методы [2–8].

Широкий класс задач формирования вариантов рассматриваемых решений может быть формализован в виде модели календарного планирования при ограничениях на привлекаемые для выполнения логистических операций возобновляемые и невозобновляемые ресурсы. Под возобновляемыми ресурсами (исполнителями) при этом понимаются транспортные средства, привлекаемые работники, погрузочно-разгрузочное оборудование и тому подобное. К невозобновляемым относятся финансовые, энергетические, топливные и другие подобные ресурсы. Разработка такой модели и метода формирования оптимального календарного плана логистических процессов в АПК является целью статьи.

При построении модели состав и взаимосвязь логистических операций, отражающих соответствующие логистические процессы функционирования АПК, целесообразно отображать в виде сети:

$$Q = \{(i, j), i, j = 0, 1, 2, \ldots, m, i < j, \tag{1}$$

где i, j — номера узлов сети; $(m + 1)$ — количество узлов.

Каждой логистической операции в сети (1) ставится в соответствие дуга (i, j), соединяющая i-й и j-й узлы. Узел $i = 0$ соответствует событию начала выполнения комплекса логистических операций, представленного сетью (1). Узлы $i = 0, 1, 2, \ldots, m$ соответствуют событиям, состоящим в завершении всех логистических операций, описываемых входящими в каждый из них дугами. Общее количество операций (дуг) равно N.

Каждая логистическая операция (i, j) характеризуется необходимым количеством $n(i, j)$ возобновляемых ресурсов и продолжительностью $\tau(i, j)$.

Последовательность операций подчиняется логистическому правилу: операция, соответствующая выходящей из любого узла дуге, не может быть начата до завершения всех операций, соответствующих дугам, входящим в этот узел.

Множество исполнителей, привлекаемых к выполнению комплекса логистических операций, обозначим $R = \{1, 2, \ldots, k, \ldots, K\}$, где k — условный порядковый номер (идентификатор) исполнителя, K — количество исполнителей. Взаимозаменяемость исполнителей в формализованном виде представим матрицей:

$$\Delta = \|\delta_k(i, j)\|, \ k = 1, 2, \ldots, K, (i, j) \in Q, \tag{2}$$

$$\text{где } \delta_k(i, j) = \begin{cases} 1, \text{ если } k\text{-й исполнитель может привлекаться к } (i, j) \text{ операции}, \\ 0 \text{ — в противном случае.} \end{cases} \tag{3}$$

Затраты невозобновляемых ресурсов, связанные с привлечением исполнителей к выполнению логистических операций, представим в виде компонент вектора:

$$Z = \|z_k(i, j)\|, \ k = 1, 2, \ldots, K, (i, j) \in Q, \tag{4}$$

где $z_k(i, j)$ — затраты на привлечение k-го исполнителя к выполнению (i, j)-й операции в течение единицы времени.

Календарный план выполнения комплекса логистических операций определяется множеством

$$G = \{X_G(i, j), r_G(i, j)|(i, j) \in Q, r_G(i, j) \subset R\}, \tag{5}$$

где $X_G(i, j)$ — определяемый планом G момент времени, соответствующий началу (i, j)-й операции; $r_G(i, j)$ — множество исполнителей, привлекаемых к выполнению (i, j)-й логистической операции в соответствии с планом G.

Будем полагать, что прерывание каждой начатой операции $(i, j) \in Q$ не допускается, и состав $r_G(i, j)$ выделенных исполнителей не изменяется.

С учетом принятых обозначений, затраты $\Omega_Y(i, j)$ на выполнение операции (i, j) при реализации плана G определяются соотношением

$$\Omega_G(i, j) = \sum_{k \in r_G(i, j)} z_k(i, j)\tau(i, j). \quad (6)$$

Обозначим через Q_L множество всех путей сети (1), связывающих ее начальную и конечную вершины.

Время выполнения всего комплекса логистических операций при реализации плана (5) будет равно максимальной продолжительности T_L пути $L \in Q_L$ из начальной вершины $i = 0$ сети (1) в конечную $j = m$.

С учетом принятых обозначений модель формирования оптимального календарного плана (5) выполнения комплекса логистических операций (1) при ограничениях на количество исполнителей, их взаимозаменяемость и затраты на привлечение, может быть представлена следующей моделью дискретного программирования:

- определить календарный план

$$G^* = \left\{ X^*_G(i, j), r^*_G(i, j) \,\middle|\, (i, j) \in Q, r_G(i, j) \subseteq R \right\} \quad (7)$$

выполнения комплекса (1) логистических операций, обеспечивающий соблюдение условия

$$T^* = T(G^*) = \min_G \max_{L \in Q_L} T_L(G) \quad (8)$$

- при ограничениях

$$X_G(i, j) \geq \max_{l, i} \left\{ X_G(l, i) + \tau(l, i) \right\}, \quad (i, j) \in Q; \quad (9)$$

$$\sum_{(i, j) \in r_G(i, j)} \delta_k(i, j) = n(i, j); \quad (10)$$

$$\sum_{(i, j) \in F_G(t)} n(i, j) \leq K; \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \delta_k(i, j) \geq n(i, j); \quad (12)$$

$$\sum_{(i, j) \in Q} \Omega_G(i, j) \leq \Omega^*, \quad (13)$$

где $F_G = (t)$ — множество логистических операций комплекса (1), выполняемых в каждый момент времени t при реализации плана G; Ω^* — максимально допустимые затраты невосполняемых ресурсов при выполнении комплекса логистических операций сети (1).

В задаче (7)–(13) условие (8) формализует стремление минимизировать время выполнения комплекса логистических операций. Ограничение (9) отражает логистическое правило, состоящее в том, что операции, выходящие из любого узла сети (1), могут начинаться только после завершения всех операций, входящих в этот узел. Ограничение (10) формализует требование выделения на каждую операцию установленного количества исполнителей. Ограничение (11) отражает естественное условие, состоящее в том, что количество исполнителей, одновременно привлекаемых к выполнению логистических операций, не может превышать их общего количества. Ограничение (12) формализует требование, состоящее в том, что количество и взаимозаменяемость исполнителей должны обеспечивать возможность выполнения каждой логистической операции сети (1). Ограничение (13) означает, что общие затраты невозобновляемых ресурсов при выполнении комплекса логистических операций сети (1) не могут превышать допустимого уровня.

Модель (7)–(13) относится к нелинейным моделям распределения дискретных неоднородных ресурсов на произвольной сети. Она является NP — сложной задачей дискретного программирования [10; 13]. Точные методы решения некоторых задач такого класса впервые предложены в [1; 9; 11; 12]. Однако при этом учитывались только возобновляемые ресурсы. Вместе с тем при формировании планов реализации реальных логистических процессов функционирования предприятий АПК, наряду с возобновляемыми, необходимо учитывать и необходимые невозобновляемые ресурсы. Ограниченность этих ресурсов формально отражает соотношение (13). Его введение приводит к необходимости соответствующей модернизации метода, предложенного в [1].

Для существования оптимального календарного плана в модели (7)–(13) необходимо и достаточно, чтобы:

а) состав и взаимозаменяемость исполнителей обеспечивали возможность выполнения всего комплекса логистических операций сети (1);

б) уровень Ω^* допустимых затрат невозобновляемых ресурсов позволял выполнить комплекс логистических операций сети (1).

В формализованном виде выполнение первого из этих требований заключается в выполнении ограничения (12). Оно означает, что в составе возобновляемых ресурсов имеются специалисты, транспортные средства, погрузочно-разгрузочное оборудование и т. п., позволяющие выполнить любую логистическую операцию сети (1).

Проверка выполнения второго требования основана на использовании множества

$$R^* = \{r_q(i,\ j) | (i,\ j) \in Q,\ q = 1,\ 2,\ \ldots\} \tag{14}$$

всех возможных вариантов привлечения возобновляемых ресурсов, необходимых для выполнения соответствующих логистических операций. С этим множеством связано множество

$$\Omega = \{\Omega^q(i,\ j),\ q = 1,\ 2,\ \ldots,\ (i,\ j) \in Q\} \tag{15}$$

затрат $\Omega^q(i,\ j)$ на выполнение логистических операций при соответствующих вариантах привлечения возобновляемых ресурсов. Элементы множества (15) определяются соотношением

$$\Omega^q(i,j) = \tau(i,j) \sum_{k \in r^q(i,j)} z_k(i,j). \tag{16}$$

С учетом (16) второе из требований, обеспечивающих существование оптимального календарного плана в модели (7)–(13), в формализованном виде представляется соотношением

$$\sum \min_q \Omega^q(i,j) \le \Omega^*, \quad q = 1, 2, \ldots . \tag{17}$$

Проверку выполнимости условий (12) и (17) целесообразно проводить еще до начала процедуры поиска оптимального календарного плана в модели (7)–(13). Если они не выполняются, то такой план не существует. Если же они выполняются, то формирование оптимального календарного плана выполнения логистических операций сети (1) может быть реализовано.

Это формирование опирается на следующие построения:

а) представление множества $V = \{S\}$ допустимых по ограничениям фрагментов S логистического плана G в виде дерева подмножеств (ветвление);

б) вычисление для ветвей дерева (выделенных подмножеств) нижней границы целевой функции (8);

в) поиск допустимых вариантов календарного плана;

г) проверка этих вариантов на оптимальность.

Особенность рассматриваемого в настоящей работе метода состоит в необходимости учета на каждом шаге ветвления дополнительного условия (13). Если оно нарушается, то дальнейшее продолжение рассматриваемой ветви дерева вариантов не представляется возможным и осуществляется переход к новой ветви.

Алгоритм метода оптимизации строится на основе дихотомической схемы ветвления дерева вариантов. При его реализации каждая вершина v_s S-й ветви дерева представляет собой элемент календарного плана выполнения логистических операций. Причем, если соответствующая этому элементу операция (i, j) начинается в момент времени $X_S(i, j)$ при $r_S(i, j)$-м варианте назначения возобновляемых ресурсов, то полагаем

$$v_S = \{X_\mathrm{S}(i, j),\ r_\mathrm{S}(i, j)\}. \tag{18}$$

Если же операция (i, j) не начинается в момент времени $X_\mathrm{S}(i, j)$ при $r_\mathrm{S}(i, j)$-м варианте их назначения, то полагаем

$$v_\mathrm{S} = \varnothing. \tag{19}$$

Для каждой ветви дерева вариантов $S \in V$ величины $X_S(i, j)$, $(i, j) \in G$, (моменты начала операций) должны выбираться из соответствующей этой ветви возрастающей последовательности

$$t_S = \left\{t_S^n\right\}, \quad n = 1,\ 2,\ \ldots .$$

При этом $t_S^1 = 0$, а последующие моменты t_S^n, $n = 2, 3, \ldots$ определяются на основе соотношения

$$t_s^n = \min_{(i,j)\in F\left(t_s^{n-1}\right)} \left\{X_s(i, j) + \tau(i, j)\right\}, \tag{20}$$

где $F_S\left(t_S^{n-1}\right)$ — множество логистических операций (i, j), ранее включенных в S-ю ветвь дерева вариантов и незавершенных к моменту времени t_S^{n-1}, т.е.

$$F_S\left(t_S^{n-1}\right) = \left\{(i, j) \,\middle|\, (i, j) \in G,\ X_S(i, j) \le t_S^{n-1} \le X_S(i, j) + \tau(i, j)\right\}. \tag{21}$$

Таким образом, переменные t_S представляют моменты времени, в которые завершаются логистические операции, включенные в очередную ветвь дерева, и высвобождаются соответствующие возобновляемые ресурсы.

Условие $t_S^1 = 0$ означает, что все варианты календарного плана начинаются в момент времени $t = 0$.

Можно утверждать, что назначение сроков начала операций с нарушением последовательностей моментов времени t_s не позволяет сократить общее время выполнения рассматриваемого комплекса логистических операций сети (1).

Действительно, для любого плана G, содержащего фрагмент S, ранний срок начала любой операции $(i, j) \in S$ по определению принадлежит последовательности моментов времени t_s. Следовательно, и поздние сроки начала операций, лежащих на критических для плана G путях, также принадлежат этой последовательности. Для логистических операций, не относящихся к критическим путям, возможны вариации сроков их начала в пределах соответствующих резервов времени. При этом, поскольку границы этих резервов также принадлежат рассматриваемой последовательности, вариации внутри границ не изменят общее время выполнения комплекса логистических операций. Следовательно, сроки начала и окончания операций оптимального по критерию (8) календарного плана выполнения логистических операций (7) должны принадлежать последовательности t_s, соответствующей этому плану.

С целью реализации дихотомической схемы ветвления дерева вариантов введем в рассмотрение связанное с (14) множество

$$D = \{d_{\mathrm{q}} | q = 1,\ 2,\ \ldots\}, \tag{22}$$

в котором $d_q = 1$, если для выполнения (i, j)-й операции используется вариант $r^q(i, j)$ назначения ресурсов, или $d_q = 0$ в противном случае.

В этом случае порядковый номер q элемента $d_q = 1$ в множестве D характеризует выполняемую логистическую операцию, вариант назначения возобновляемых и затраты невозобновляемых ресурсов.

С учетом (22) ветвление дерева вариантов в интересах составления оптимального плана (7) состоит в выборе для каждого очередного момента t_S^n допустимых переменных $d_q \in D$ и установлении их значений, т. е. имеет место соотношение (18) $\left(\nu_S = \left\{t_S^n,\ d_q = 1\right\}\right)$, если соответствующая переменной d_q логистическая операция $(i, j) \in G$ начинается в момент времени $X_S(i,j) = t_S^n$ при $r^q(i, j)$-м варианте назначения ресурсов, или (19) $\left(\nu_S = \left\{t_S^n, d_q = 0\right\}\right)$, если указанная операция при рассматриваемом варианте назначения ресурсов в момент t_S^n не начинается.

Множество P_S^n элементов $d_q \in D$, которые могут включаться в S-й фрагмент календарного плана (7) в момент времени t_S^n, содержит переменные $d_q \in D$, соответствующие не включенным ранее в рассматриваемую ветвь S логистическим операциям $(i, j) \in G$, удовлетворяющие условиям:

$$X(l,i) + \tau(l,i) \le t_S^n,\ (l,i) \in G\,; \tag{23}$$

$$r^q(i,j) \subseteq R_S^n\,; \tag{24}$$

$$\Omega^* - \sum_{d_m \in D_S\left(t_S^{n-1}\right)} d_m \Omega_m + \Omega_q \ge 0, \quad q = 1, 2, \ldots, \tag{25}$$

где R_S^n — множество незадействованных ресурсов для фрагмента S календарного плана в момент времени t_S^n; $D_s\left(t_S^{n-1}\right)$ — множество переменных d_q, включенных в ветвь S дерева вариантов к моменту времени t_S^{n-1}.

Условие (23) выделяет логистические операции, для которых к моменту t_S^n выполнены все предшествующие. Условие (24) выделяет операции, для которых имеются необходимые возобновляемые ресурсы. Условие (25) — выделяет операции, обеспеченные оставшимися невозобновляемыми ресурсами.

В качестве оценки W_S значения нижней границы для целевой функции (8) в каждом фрагменте S календарного плана целесообразно принять максимальную длительность пути из начальной вершины логистической сети Q в конечную, определяемую без учета ограничений (11), (13) для операций, не включенных в S. При этом если на очередном шаге ветвления, соответствующем моменту t_s^n, устанавливается $d_q = 1$, то для определения $W_S(d_q = 1)$ полагается следующее:

а) логистические операции $(l, i) \in Q$, ранее вошедшие в S-й фрагмент плана (т. е. операции, для которых $x_S(l, i) < t_S n$, начинаются в соответствующие моменты $x_S(l, i)$ и завершаются в моменты $x_S(l, i) + \tau(l, i)$;

б) для логистической операции $(l, i) \in Q$, соответствующей переменной $d_q = P_S^n$, включаемой на рассматриваемом шаге ветвления в S-ю ветвь дерева вариантов — $X_S(i, j) = t_S^n$;

в) для операций $(e, h) \in Q$, соответствующих переменным $d_u \in P_S^n$, $u \neq q$, которые по ограничению (9) в момент t_S^n не могут быть включены в календарный план одновременно с (l, i), время начала равно t_S^{n+1}, а длительность определяется соотношением $t_S^{n+1} + \tau(e, h)$.

Если же на рассматриваемом шаге ветвления устанавливается $d_q = 0$, то для определения $W_S(d_q = 0)$ дополнительно полагается следующее:

а) логистические операции $(l, i) \in Q$, ранее вошедшие в S-й фрагмент календарного плана (т. е. операции, для которых $X_S(l, i) < t_S^n$), начинаются в соответствующие моменты $X_S(l, i)$ и завершаются в моменты $X_S(l, i) + \tau(l, i)$;

б) операция (i, j), соответствующая переменной $d_q \in P_S^n$, начинается в момент времени t_S^{n+1} и завершается в момент $t_S^{n+1} + \tau(l, i)$;

в) остальные операции $(e, h) \in G$, соответствующие переменным $d_u \in P_S^n$, $u \neq q$, начинаются в момент t_S^n и завершаются в моменты $t_S^n + \tau\ (e, h)$.

Сходимость метода оптимизации существенно зависит от способа выбора очередной логистической операции и варианта назначения для нее возобновляемых ресурсов. Формально способ состоит в выборе переменных $d_q \in P_s^n$ включаемых в S-ю ветвь дерева вариантов в момент времени t_s^n. В предлагаемом методе оптимизации выбор переменной d_q на очередном шаге ветвления осуществляется в два этапа. На первом этапе выбирается логистическая операция, а на втором — вариант назначения ресурсов. Правило выбора очередной операции задается следующей последовательностью предпочтений:

$$\min T_j^{(n)} \to \max \tau(i, j) \to \min i \to \min j,$$

т. е. первой в план включается операция с меньшим поздним сроком окончания $T_j^{(n)}$. Если же таких операций несколько, то из них выбирается операция максимальной длительности. Если и таких операций несколько — то операция с наименьшими номерами i, j. Поздние сроки окончания при этом определяются с учетом рассматриваемого фрагмента S календарного плана.

Вариант $r(i, j)$ назначения возобновляемых ресурсов для выбранной работы (i, j) определяется из условия минимума величины

$$\sum_{k \in r(i, j)} \sum_{(l, h) \notin S} \delta_k(l, h),$$

т. е. назначаются наименее универсальные для оставшихся операций $(l, h) \notin S$ ресурсы.

Выбранная таким образом логистическая операция (i, j) и вариант $r(i, j)$ назначения возобновляемых ресурсов однозначно определяют очередную переменную $d_q \in P_S^n$, включаемую в S-ю ветвь дерева вариантов календарного плана в момент t_s^n.

Последовательность анализа ветвей дерева организуется по правилу «иди вправо». При этом в случае автоматизированной обработки данных и решения задачи в памяти ЭВМ достаточно хранить только текущий фрагмент плана, наименьшее значение целевой функции из полученных ранее и соответствующий ему допустимый вариант плана.

Рассмотренный способ выбора логистических операций и возобновляемых ресурсов в сочетании с указанным правилом составляет приближенный алгоритм построения календарного плана, позволяющий получить первый допустимый план для модели (7)–(13). Число шагов этого алгоритма равно количеству N логистических операций в сети (1).

Каждая анализируемая ветвь S заканчивается, если в нее вошли все N логистических операций, т.е. получен очередной допустимый календарный план G, или если

$$W_s \geq T^0(1 - \mu),\ 0 \leq \mu \leq 1, \tag{26}$$

где T^0 — наименьшее значение (рекорд) целевой функции для полученных ранее допустимых календарных планов; μ — задаваемое допустимое отклонение целевой функции от оптимального, определяющее требуемую точность оптимизации.

Выполнение условия (26) означает, что на рассматриваемой ветви дерева вариантов улучшить ранее полученный наилучший результат («рекорд») более чем на $100\mu\%$ нельзя и ее продолжение в рамках заданной точности оптимизации не имеет смысла.

Анализ вариантов плана заканчивается, если условие (26) выполняется для всех оставшихся ветвей дерева вариантов. При установленном правиле просмотра ветвей, выполнению этого условия соответствует второй возврат в корневую вершину дерева. Последний рекорд при этом является искомым значением целевой функции (8), а соответствующий ему допустимый план выполнения комплекса логистических операций сети (1) — оптимальным календарным планом G^*.

В целом предлагаемые модель и метод обеспечивают возможность получения как точного, так и приближенных решений. Они могут быть сравнительно просто интегрированы в конкретные системы поддержки принятия решений, поскольку требования к показателю эффективности и ограничения модели (7)–(13) носят достаточно общий характер, что позволяет создавать на их основе большой спектр конкретных методик формирования оптимальных календарных планов организации логистических процессов функционирования рассматриваемых нами перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса.

Литература

1. *Алгоритм* ветвей и границ для одного класса задач теории расписаний / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1992. Т. 32. № 12. С. 2000–2005.
2. *Математические* модели и методы управления инновационными проектами / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Д.Б. Босов. М. : Aegis-Print, 2009. 188 с.
3. *Методы* и модели оптимизации в управлении развитием сложных технических систем / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов [и др.]. СПб. : Политехника, 2004. 279 с.
4. *Многоуровневая* задача стандартизации технических комплексов / В.М. Крикун, С.А. Васильковский // Стандарты и качество. 1992. № 1. С. 30–32.
5. *Модели* распределения средств поражения в динамике боя / О.Г. Алексеев [и др.]. Ленинград : Министерство обороны СССР, 1989. 109 с.
6. *Моделирование* оптимизационных задач поддержки принятия решений в инновационном менеджменте / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, В.Е. Новиков, В.А. Останин // Вестник Российской таможенной академии. 2016. № 1 (34). С. 90–98.
7. *Модель* для формирования оптимальных адаптивных решений при планировании инвестиционных процессов / В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Т.Н. Сауренко // Экономика и предпринимательство. 2013. № 10 (39). С. 640–642.
8. *Модель* поддержки принятия решений при формировании инновационной стратегии предприятия / Е.Г. Анисимов, В.Г. Анисимов, С.Л. Блау, В.Е. Новиков, А.В. Тебекин // Экономика сельского хозяйства России. 2016. № 3. С. 53–59.

9. *Оптимизационная* модель распределения возобновляемых ресурсов при управлении экономическими системами / В. Г. Анисимов, Е. Г. Анисимов // Вестник Российской таможенной академии. 2007. № 1. С. 49–54.
10. *Применение* цепей Маркова к оценке вычислительной сложности симплексного метода / А. О. Алексеев [и др.] // Известия Академии наук СССР. Техническая кибернетика. 1988. № 3. С. 59–63.
11. *Сетевые* модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами / В. Г. Анисимов, Е. Г. Анисимов, Д. Б. Босов. М. : МПГУ, 2006. 117 с.
12. *A resource-and-time* method to optimize the performance of several interrelated operations / V. Anisimov, E. Anisimov, M. Sonkin // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. N 17. C. 38127–38132.
13. *The* model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov, T. N. Saurenko, M. A. Sonkin // Journal of Physics: Conference Series. 2017. T. 803. N 1. C. 012006.

Об авторах:

Родионова Евгения Сергеевна, доцент кафедры международных экономических отношений экономического факультета Санкт-Петербургского им. В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии (Санкт-Петербург, Российская Федерация), кандидат экономических наук; wart1983@mail.ru

Сауренко Татьяна Николаевна, заведующий кафедрой таможенного дела Российского университета дружбы народов (Москва, Российская Федерация), доктор экономических наук; Tanya@saurenko.ru

Анисимов Владимир Георгиевич, профессор кафедры информационных систем в экономике и менеджменте Санкт-Петербургского государственного технического университета (Санкт-Петербург, Российская Федерация), доктор технических наук, профессор; an-33@yandex.ru

Анисимов Евгений Георгиевич, профессор кафедры таможенного дела Российского университета дружбы народов (Москва, Российская Федерация), доктор технических наук, доктор военных наук, профессор; an-33@rambler.ru

References

1. An algorithm of branches and borders for one class of tasks of the theory of schedules / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov // Journal of calculus mathematics and mathematical physics [Zhurnal vychislitel'noi matematiki i matematicheskoi fiziki]. 1992. V. 32. N 12. P. 2000–2005. (In rus)
2. Mathematical models and methods of management of innovative projects / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov, D. B. Bosov. M. : Aegis-Print, 2009. 188 p. (In rus)
3. Methods and models of optimization in management of complex technical systems development / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov [etc.]. SPb. : Polyticnique, 2004. 279 p. (In rus)
4. Multilevel problem of standardization of technical complexes / V. M. Krikun, S. A. Vasilkovsky // Standards and quality [Standarty i kachestvo]. 1992. N 1. P. 30–32. (In rus)
5. Distribution models of weapons of destruction in dynamics of fight / O. G. Alekseev [etc.]. Leningrad : Ministry of Defence USSR, 1989. 109 p. (In rus)
6. Modeling Optimization Tasks to Support Decision-Making Process in Innovation Management / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov, V. E. Novikov, V. A. Ostanin // The Russian Customs Academy Messenger [Vestnik Rossiiskoi tamozhennoi akademii]. 2016. N 1 (34). P. 90–98. (In rus)
7. Model for formation of optimal adaptive solutions when planning investment processes / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov, T. N. Saurenko // Economy and entrepreneurship [Ekonomika i predprinimatel'stvo]. 2013. N 10 (39). P. 640–642. (In rus)
8. Model of support of decision-making when forming innovative strategy of the enterprise / E. G. Anisimov, V. G. Anisimov, S. L. Blau, V. E. Novikov, A. V. Tebekin // Rural economics of Russia [Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii]. 2016. N 3. P. 53–59. (In rus)
9. An optimizing distribution model of renewable resources at management of economic systems / V. G. Anisimov, E. G. Anisimov // The Russian Customs Academy Messenger [Vestnik Rossiiskoi tamozhennoi akademii]. 2007. N 1. P. 49–54. (In rus)
10. Application of Markov chains to assessment of computing complexity of a simplex method / A. O. Alekseev [etc.] // News of Academy of Sciences of the USSR. Technical cybernetics [Izvestiya Akademii nauk SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika]. 1988. N 3. P. 59–63. (In rus)

11. Network models and methods of resource and time optimization in management of innovative projects / V.G. Anisimov, E.G. Anisimov, D.B. Bosov. M. : MSPU, 2006. 117 p. (In rus)
12. A resource-and-time method to optimize the performance of several interrelated operations / V. Anisimov, E. Anisimov, M. Sonkin // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. N 17. C. 38127–38132.
13. The model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise / V.G. Anisimov, E.G. Anisimov, T.N. Saurenko, M.A. Sonkin // Journal of Physics: Conference Series. 2017. T. 803. N 1. C. 012006.

About the authors:

Evgenia S. Rodionova, Associate Professor of the Chair of International Economic Relations of Saint-Petersburg named by V.B. Bobkov branch of the Russian Customs Academy (Saint-Petersburg, Russian Federation), PhD in Economics; wart1983@mail.ru

Tatyana N. Saurenko, Head of the Chair of Customs Affairs of Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russian Federation), Doctor of Science (Economics); Tanya@saurenko.ru

Vladimir G. Anisimov, Professor of the Chair of Information Systems In Economy and Management of Saint-Petersburg State Technical University (Saint-Petersburg, Russian Federation), Doctor of Science (Engineering), Professor; an-33@yandex.ru

Evgeny G. Anisimov, Professor of the Chair of Customs Affairs of Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russian Federation), Doctor of Science (Engineering, Military Sciences), Professor; an-33@rambler.ru