

УЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ В СЕТЕВОМ ГРАФИКЕ ЗАГРУЗОЧНЫХ РАБОТ

И. Р. Лаухин, Н. В. Майстренко, И. Л. Коробова

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»,
sapr.tstu@mail.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: детерминированная модель; загрузка контейнеров; имитационное моделирование; оптимизация работы предприятия логистики; погрузочные работы; сетевой график; стохастический процесс.

Аннотация: Функционирование современного предприятия логистики неразрывно связано с существованием различного рода рисков, проявление которых на практике ведет к срыву сроков осуществления отдельных работ по доставке, приемке груза, его распределению и т.д. Отметим общую необходимость в прогнозировании и учете рисков, так как последствия их практического осуществления имеют, как правило, необратимый отрицательный финансовый эффект.

Дано описание учета рисков в сетевом графике при осуществлении погрузочных работ как одного из определяющих логистику предприятия этапов. Представлены стохастический и детерминированный подходы в моделировании распределения работ, что расширяет область применения обозначенной методики на практике предприятий в зависимости от уровня глубины представления об исследуемых объектах.

Формализованы общий алгоритм и его практическая апробация, что позволяет использовать показанные решения при разработке программного обеспечения автоматизированных систем управления погрузочными работами.

Анализ проблемы. Современные предприятия логистики и их контрагенты имеют достаточно масштабную и сложную сеть взаимодействия, что предполагает наличие широкого набора факторов, потенциально дестабилизирующих целевые задачи и общую фоновую обстановку, ведущих к значительным расходам, как правило, имеющим необратимый отрицательный эффект. В условиях конкуренции в области логистики, допущение реализации рисков на практике может повлечь потерю позиции предприятия на рынке услуг, доверия со стороны контрагентов или заказчиков.

Загрузочные работы играют определяющую роль в комплексе работ по отправке грузов и соответствующего транспорта, так как возможные связанные коллизии расписаний в ряде случаев бывают недопустимыми, что особенно актуально в авиа- или железнодорожных перевозках.

Цель работы – определение множества работ по потоковой загрузке контейнеров, однако приведенные решения с учетом существующих допущений могут быть адаптированы для рассмотрения различного типа грузовых мест.

Анализ литературных источников по данной тематике [1 – 3] показал недостаточную меру определения и проработки проблемы в направлении учета и моделирования рисков, что выражено:

– неполнотой сетевого подхода в планировании работ, сосредоточенной исключительно на оптимизации критического времени без учета дополнительных финансовых или качественных ограничений;

– отсутствием математического определения риска в общей сетевой модели и соответствующих подходов к экстраполяции поведения всей системы в целом;

– как следствие отсутствием формализации задачи минимизации и соответствующего алгоритма поиска эффективной стабилизации функционирования системы с учетом осуществления рисков погрузочных работ.

С другой стороны, актуальные исследования в области смежной тематики [4] достигли значительных практических результатов, что позволяет расширить область сетевого моделирования до включения различного типа абстракций рисков и их экстраполяции. С учетом особенностей целевых моделей загрузки, критериев оптимизации работ, соответствующих ограничений и других характеристик, имеющих отношение преимущественно к рассматриваемой предметной области, дадим определение обозначенным методикам, адаптируя их под поставленную проблематику. Отметим, что вариация подходов к обозначению моделей представления рисков позволяет интегрировать параметры и характеристики с различной полнотой представления их поведения, что особенно актуально при решении проблемы минимизации несоответствий между реальной системой, ее окружения и средой моделирования.

Математическая формализация задачи оптимизации. Формализуем обозначенную проблему математически. Актуальным подходом в синтезе модели определения работ будет реализация сетевого графика, определяющего план распределения задач на соответствующих исполнителей по времени и использованию необходимых ресурсов. В терминах обозначенной задачи сетевая модель M установит отношение между следующими абстракциями объектов логистики:

– набор команд исполнителей загрузки на предприятии x_i , где $i = \overline{1, N_X}$;

– множества работ по загрузке контейнеров y_j , согласно установленному плану компоновки, и смежных работ, где $j = \overline{1, N_Y}$;

– вектор доступных на предприятии ресурсов r_k и необходимых для реализации поставленных задач, где $k = \overline{1, N_R}$.

Параметры N_X , N_Y и N_R отражают соответствующие размерности обозначенных множеств, могут динамически варьироваться в ходе реализации рассчитанного плана.

Учтем наличие некоторого комплекса оценок C при формировании, в идеальном случае, задачи

$$\left[C = \int_{t_H}^{t_K} C(M(\{\{x_i\}, \{y_j\}, \{r_k\}\})) dt \right] \rightarrow_{t_H \leq t \leq t_K} \text{opt } C, \quad (1)$$

где t_H и t_K – начальная и конечная границы временного планирования соответственно в реализации комплекса загрузочных операций; $\{\{x_i\}, \{y_j\}, \{r_k\}\}$ – искомое сочетание соответствующих элементов.

Актуальной проблемой в исследованиях рисков загрузочных операций является отсутствие их математической формализации на уровне моделей и экстраполяции поведения в общем сетевом графике работ. Определяя общую типовую классификацию рисков [5], имеющих актуальность в контексте обозначенной проблемы, рассмотрим следующие риски:

– коммерческий, связанный со срывами планируемых сроков поставки и приема груза по обстоятельствам различного вида;

- экологические;
- нарушения трудовой дисциплины, техники безопасности;
- хищения грузов, средств ресурсов и другого вида материального и нематериального имущества, в том числе его утраты по социальным причинам, стихийным бедствиям и другим неблагоприятным условиям среды;
- технические, обусловленные отказом оборудования, либо практическим несоответствием ресурсов и техники;
- низкой квалификации сотрудников или неполного соответствия их компетенций в решении практических задач;
- гражданской ответственности, порождающие финансовые потери в связи с компенсационными выплатами пострадавшим сторонам;
- политические, имеющие актуальность при функционировании на мировом рынке;
- риски рынка, включающие как конкуренцию, так и общие направления развития сферы деятельности сегмента предприятий;
- другие экономические риски, включающие в том числе колебания валют, изменения в области финансового законодательства и т.д.

Представленный перечень не является исчерпывающим, равно как и обязательным. Конечная формулировка множества рисков $\{\varphi_l\}$ и определение его размерности $N_\varphi(l = \overline{1, N_\varphi})$ будет определяться уровнем и характером функционирования предприятия, его контрагентов и конкурентов, соответствующего сегмента рынка.

Подходы к решению задачи оптимального поиска. В целях обобщения подходов, будем рассуждать о некотором фиксированном множестве $\{\varphi_l\}$, равно как и с точки определения других участников моделируемого процесса, положив во внимание наличие совокупности внутренних и внешних факторов функционирования производства.

Фактическое отсутствие полной определенности в численном нахождении элементов множества $\{\varphi_l\}$, связанное с общей эмпиричностью таких подходов и различием в характере развития рисков, требует обобщенность и в подходах экстраполяции их поведения. В основе определения рисков априори лежит и задание вероятности их наступления, то есть некоторого множества $\{p_l\}$. Согласно классическим подходам в моделировании с адаптацией к рискам планирования будем полагать:

1. Стохастический подход, определяющий элементы $\{\varphi_l\}$ как функции от соответствующих элементов $\{p_l\}$. В таком случае, задача (1) с условием преобразования ее функции относительно рисков будет представлять в общем виде проблему

$$\left[C = \int_{t_n}^{t_k} C(M(\{\{x_i\}, \{y_i\}, \{r_k\}\}, \{\varphi_l(p_l(t))\})) dt \right] \rightarrow \underset{t_n \leq t \leq t_k}{\text{opt}} C. \quad (2)$$

Достаточно точное численное определение множества $\{p_l\}$ на практике допустимо, что связано с возможностью представления знаний о процессах предприятия в виде стохастических функциональных зависимостей экстраполяции, как, например, развитие рынка, колебание курсов, расчет перемещений грузов в случае срыва задачи и т.д. Другими словами, использование такого подхода является, в некотором определении, уместным на практике работы предприятия, однако не достаточным.

2. Детерминированный метод, применение которого обусловлено отсутствием полноты знаний о функциях $\{p_l\}$, но возможностью численной экстраполяции такого множества на некоторых дискретных величинах прямой t . Определение проблемы (2), в таком случае, будет задано априори с некоторым шагом интегрирования Δt , численное постоянство которого не является обязательным и зависит от степени развития состояний $\{p_l\}$ на прямой t . Дополним (2) до системы уравнений, задав p_l как соответствующую зависимость от состояний s_m :

$$[p_l^{s_m} = P \times p_l^{s_{m-1}}] \forall m = \overline{1, t/\Delta t}, \quad (3)$$

где P – некоторая заданная экспертно стохастическая матрица переходов между состояниями s_m .

В случае варьирования Δt на отрезке $[t_n; t_k]$ верхняя граница m будет отличаться от определенной в (3) и полностью зависеть от закона экстраполяции шага.

Определение матрицы переходов осуществляется исходя из знаний о системе, прецедентов воздействия рисков и обобщения законов их развития на практике. Допустимо и определение динамики матрицы в виде $P(t)$ что связано с максимальным приближением модели к исследуемому сетевому графику в условиях реальной среды функционирования предприятия.

Отметим, что полное и универсальное аналитическое решение проблем (2) с дополнением (3) исключено комбинаторной природой входящих в задачу функционалов. Практическая необходимость использования итерационных методов интегрирования (2) в таком случае очевидна.

Исследования методов реализации вычислений [6] абстрагировались от точности получаемого результата с максимально возможным упрощением состава и порядка операций, повышением скорости и общей относительной эффективности алгоритмов.

Выбор алгоритма сокращенного перебора в вопросе определения решения (2) явился определяющим, что связано, в частности, с гарантией абсолютно точного результата, повышающего эффективность исследования представленных методик. В вопросе обозначения (3) на временной прямой t в совокупности с параметрами, определяемыми стохастическим подходом, выбран метод агентного моделирования, который упрощает задание абстракций объектов-участников в системе M и их взаимосвязей на общем развитии состояний s_m [7].

Общий алгоритм определения решения (2) представлен на рис. 1. Учет (3) в показанной методике осуществляется с определением элементов множества $\{p_l\}$.

Приближения $\langle \{x_i\}, \{y_j\}, \{r_k\} \rangle$ определяются итерационно по методу ограниченного перебора с оценками локального решения и его ближайшего развития. Экстраполяция M во времени – осуществляется с определением агентов и соответствующих законов их функционирования в системе. Рисунок 1 определяет статичное численное задание шага интегрирования Δt , однако, алгоритм допускает его рассмотрение и как функции или вектора заранее определенных параметров.

Практическая апробация методик. Выводы и перспективы применения. Практическая апробация алгоритмов осуществлялась на законах изменения $\{p_l\}$ и матрицы различной формации, в том числе марковском процессе. Для реализации возможности сравнительного анализа результатов и определения правильности программирования показанного алгоритма, сравнение осуществлялось в допустимой к полному перебору размерности задачи – до 20-ти вариантов. Полученное численное сходство результатов показало общую правильность в реализации и значительную экономию вычислительного ресурса в получении абсолютного решения (2).

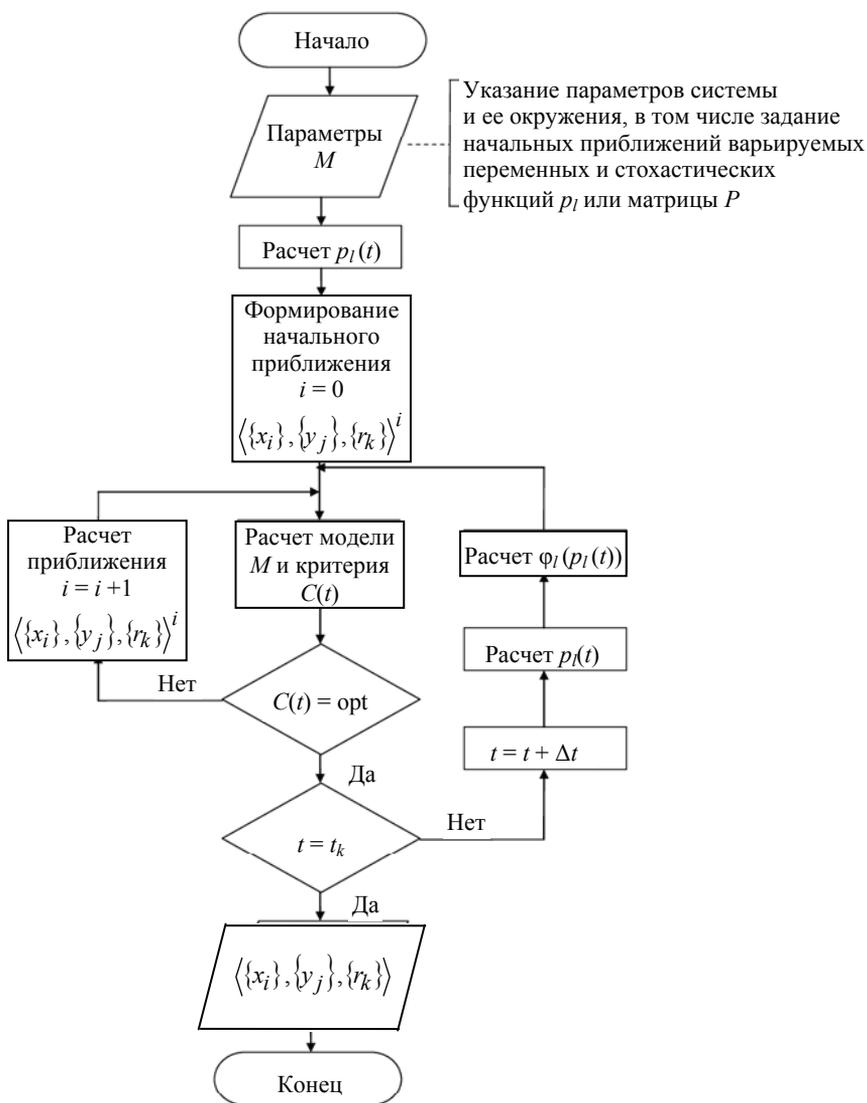


Рис. 1. Функциональная схема определения решения с моделированием рисков

В качестве примера функционирования алгоритма приведем реакцию системы M на набор рисков, заданных марковскими процессами с шагом 0,02 в определении диагонали стохастической матрицы P . График отклонений в долях часа от ожидаемого сетевого плана приведен на рис. 2.

Полученное математическое ожидание отклонения равно 0,26 ч, что практически является допустимо незначительным по отношению к общей длительности загрузочных работ с учетом показанной дисперсии. В совокупности с обозначенной выше сходимостью алгоритма и его точностью, показанное решение станет гарантированно оптимальным.

Актуальность обозначенной методики, на уровне с рассмотренной предметной областью, составит возможность прогнозирования поведения рисков на практике предприятия и экстраполяции соответствующих эффективных решений по стабилизации системы. Универсальность алгоритма позволит разрабатывать абстракции системы различного рода по отношению к известным о ней данным.

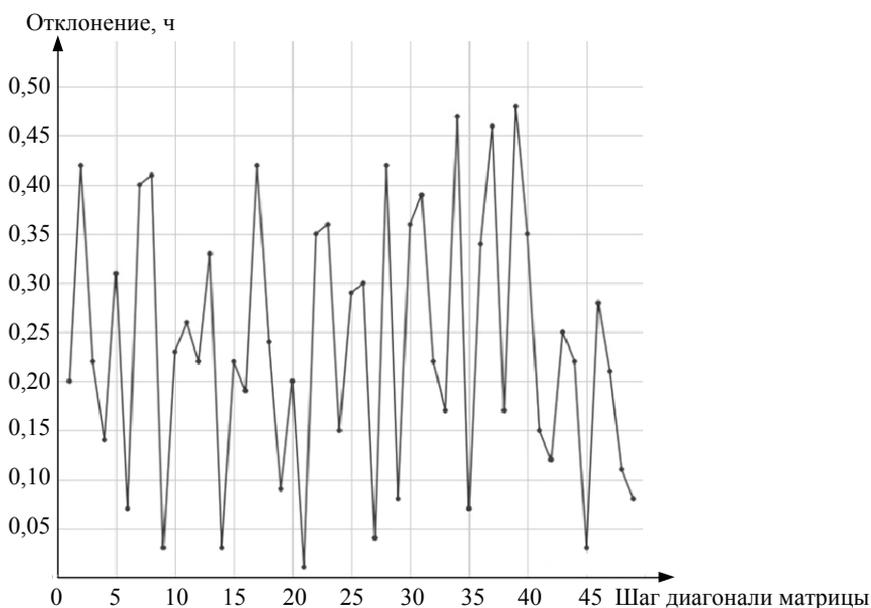


Рис. 2. График отклонений сетевого времени, рассчитанного с условием воздействия рисков от ожидаемого плана

Предлагается использование показанного алгоритма в совокупности с актуальными на рынке программного обеспечения средствами сетевого моделирования, как дополнения по формированию выходных планов. С учетом разработки допустимо ограниченного множества сетевых графиков, стабилизация процесса загрузки станет наиболее эффективной и относительно точной.

Список литературы

1. Будрина, Е. В. Проблема выявления, идентификации и оценки логистических рисков / Е. В. Будрина // Материалы междунар. конф. «Логистика в современном бизнесе». – М. : Изд-во ГУ – ВШЭ, Междунар. центр логистики, 2001. – С. 98 – 104.
2. Бродецкий, Г. Л. Управление рисками в логистике / Г. Л. Бродецкий, Д. А. Гусев, Е. А. Елин. – М. : Академия, 2010. – 192 с.
3. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и науч. ред. В. И. Сергеева. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 976 с.
4. Зуховицкий, С. И. Математические методы сетевого планирования / С. И. Зуховицкий, И. А. Радчик. – М. : Наука, 2010. – 296 с.
5. Кровец, О. А. Классификация логистических рисков промышленного предприятия / О. А. Кровец, Е. Ю. Титова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 3, № 13. – С. 639 – 641.
6. Матренин, П. В. Обзор методов оптимизации в комбинаторных задачах класса job-shop scheduling / П. В. Матренин // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2014. – № 4 (78). – С. 113 – 124.
7. Автоматизированное составление графиков ремонтов химического оборудования / В. Г. Мокрозуб [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 593 – 597.
8. Карсаев, О. В. Многоагентные системы и средства их разработки / О. В. Карсаев, В. Г. Конюший // Труды СПИИРАН. – 2009. – № 8. – С. 233 – 254.

Risk Accounting and Risk Modeling in a Logistics Network

I. R. Laukhin, N. V. Maistrenko, I. L. Korobova

*Department of Systems of Automated Decision Support, sapr.tstu@mail.ru;
Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

Keywords: deterministic model; container shipping; simulation modeling; optimization of the work of the logistics company; loading operations; network diagram; stochastic process.

Abstract: Modern logistics enterprise operations are subject to a variety of risks, the manifestation of which leads to a breakdown in the timing of certain work on delivery, acceptance of cargo, its distribution, etc. The general need for forecasting and accounting for risks, since the consequences of their practical implementation have, as a rule, an irreversible negative financial effect is obvious.

A description of the risk accounting in shipping net work as one of the stages determining the logistics of the enterprise is given. Stochastic and deterministic approaches to modeling the distribution of work are presented; this expands the scope of the indicated methodology in the practice of enterprises, depending on the level of depth of understanding of the objects under study.

The general algorithm and its practical testing are formalized; it allows using the solutions shown in the development of software for automated shipping management systems.

References

1. Budrina Ye.V. *Logistika v sovremennom biznese* [Logics in modern business], Proceedings of the international conference, Moscow: Izdatel'stvo GU–VSHE, Mezhdunarodnyy tsentr logistiki, 2001, pp. 98-104. (In Russ.)
2. Brodetskiy G.L., Gusev D.A., Yelin Ye.A. *Upravleniye riskami v logistike* [Logistics risk management], Moscow: Akademiya, 2010, 192 p. (In Russ.)
3. Sergeev V.I. [Ed.] *Korporativnaya logistika. 300 otvetov na voprosy professionalov* [Corporate logistics. 300 answers to the questions of professionals], Moscow: INFRA-M, 2005, 976 p. (In Russ.)
4. Zukhovitskiy S.I., Radchik I.A. *Matematicheskiye metody setevogo planirovaniya* [Mathematical methods of network planning], Moscow: Nauka, 2010, 296 p. (In Russ.)
5. Krovetz O.A., Titova Ye.Yu. [Classification of logistics risks of an industrial enterprise], *Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and cosmonautics], 2017, vol. 3, no. 13, pp. 639-641. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Matrenin P.V. [Review of optimization methods in combinatorial problems of the job-shop scheduling class], *Sbornik nauchnykh trudov NGTU* [Collection of scientific works of NSTU], 2014, no. 4 (78), pp. 113-124. (In Russ.)
7. Mokrozub V.G., Serdyuk A.I., Polyakov A.N., Ovechkin M.V., Marusich K.V. [Automated scheduling of repairs of chemical equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 593-597. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Karsayev O.V., Konyushiy V.G. [Multi-agent systems and their development tools], *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN], 2009, no. 8, pp. 233-254. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Glazkova V.V., Muromtsev D.Yu., Shamkin V.N. [Evaluation of the accuracy of calculating the lower boundary values of the probabilities of the states of functioning of complex systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 340-349, doi: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.340-349 (In Russ., abstract in Eng.)

Die Berücksichtigung und Modellierung der Risiken im Netzwerkdigramm der Boot-Arbeiten

Zusammenfassung: Das Funktionieren eines modernen Logistikunternehmens ist untrennbar mit der Existenz verschiedener Arten von Risiken verbunden, deren Ausprägung in der Praxis zu einer zeitlichen Verschiebung bestimmter Arbeiten bei der Lieferung, der Annahme von Gütern, deren Verteilung usw. führt. Es sei der allgemeine Bedarf bei der Prognose und Risikoeinschätzung zu betonen, da die Konsequenzen ihrer praktischen Umsetzung in der Regel einen irreversiblen negativen finanziellen Effekt haben.

Es ist die Beschreibung der Berücksichtigung der Risiken in der Netzgrafik bei der Verwirklichung der Boot-Arbeiten wie einer der bestimmenden logistischen Etappen des Unternehmens gegeben. Es sind stochastische und deterministische Ansätze zur Modellierung der Arbeitsverteilung vorgestellt, die den Umfang der angegebenen Methodik in der Unternehmenspraxis in Abhängigkeit von der Tiefe der Vorstellung von den untersuchten Objekten erweitern.

Der allgemeine Algorithmus und seine praktischen Tests sind formalisiert, wodurch die bei der Entwicklung von Software für automatisierte Boot-Arbeiten-Managementsysteme gezeigten Lösungen verwendet werden können.

Prise en compte et simulation des risques dans le graphe réseau des charges de travail

Résumé: Le fonctionnement d'une entreprise logistique moderne est lié à l'existence de divers types de risques dont la manifestation en pratique conduit à l'échec des délais de la réalisation de certains travaux de la livraison, la réception, la distribution des marchandises, etc. Notons la nécessité générale de la prévision et de la prise en compte des risques puisque les conséquences de leur mise en œuvre pratique ont généralement un effet financier négatif irréversible.

Est donnée la description de la prise en compte des risques dans le graphe du réseau lors de l'exécution des travaux du chargement comme une des étapes déterminantes de la logistique de l'entreprise. Sont présentées des approches stochastiques et déterministes dans la modélisation de la répartition des travaux ce qui élargit le champ d'application de la méthode indiquée dans la pratique des entreprises en fonction du niveau de profondeur de la représentation des objets étudiés.

Sont formalisés l'algorithme général et son approbation pratique ce qui permet d'utiliser les solutions indiquées dans le développement du logiciel des systèmes automatisée de la commande des opérations de chargement.

Авторы: *Лаухин Илья Романович* – магистрант; *Майстренко Наталья Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»; *Коробова Ирина Львовна* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Егоров Сергей Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
