

ТРАНСПОРТ ТА ЛОГІСТИКА

УДК 658.78.656

© Киркин А.П.¹, Киркина Т.Ю.²

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВАГОНПОТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ФРОНТАМ ПОГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Развитие управления, организации и планирования в транспортных системах предусматривает наличие большого объема нечетких и стохастических данных. Для повышения эффективности их использования предлагается использовать методы искусственного интеллекта, в большинстве случаев, это методы нечеткой логики. При этом дальнейшее развитие получили методы оперативного распределения вагонопотоков предприятий по фронтам погрузки и выгрузки.

Ключевые слова: автоматизация, нечёткая логика, план-график, искусственный интеллект.

Кіркін О.П., Кіркїна Т.Ю. Розподіл вагонопотоків підприємств по фронтах навантаження-вивантаження з використанням методів штучного інтелекту. Розвиток управління, організації та планування в транспортних системах передбачає наявність великого обсягу нечітких та стохастичних даних. Для підвищення ефективності їх використання пропонується використовувати методи штучного інтелекту, в більшості випадків, це методи нечіткої логіки. При цьому, подальший розвиток отримали методи оперативного розподілу вагонопотоків підприємств за напрямками навантаження й вивантаження.

Ключові слова: автоматизація, нечітка логіка, план-графік, штучний інтелект.

O.P. Kirkin, T.Y. Kirkina. Cargo flows distribution over the loading sites of enterprises by using methods of artificial intelligence. Development of information technologies and market requirements in effective control over cargo flows, forces enterprises to look for new ways and methods of automated control over the technological operations. For rail transportation one of the most complicated tasks of automation is the cargo flows distribution over the sites of loading and unloading. In this article the solution with the use of one of the methods of artificial intelligence – a fuzzy inference has been proposed. The analysis of the last publications showed that the fuzzy inference method is effective for the solution of similar tasks, it makes it possible to accumulate experience, it is stable to temporary impacts of the environmental conditions. The existing methods of the cargo flows distribution over the sites of loading and unloading are too simplified and can lead to incorrect decisions. The purpose of the article is to create a distribution model of cargo flows of the enterprises over the sites of loading and unloading, basing on the fuzzy inference method and to automate the control. To achieve the objective a mathematical model of the cargo flows distribution over the sites of loading and unloading has been made using fuzzy logic. The key input parameters of the model are: «number of loading sites», «arrival of the next set of cars», «availability of additional operations». The output parameter is «a variety of set of cars». Application of the fuzzy inference method made it possible to reduce loading time by 15% and to reduce costs for preparatory operations before loading by 20%. Thus this method is an effective means and holds the greatest promise for railway competitiveness increase. Interaction between different types of

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, apkirkin@yandex.ua

² ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,

transportation and their influence on the cargo flows distribution over the sites of loading and unloading hasn't been considered. These sites may be busy transshipping at that very time which is characteristic of large enterprises. Besides, the question of gaining experience in this model isn't tackled yet and it is to be developed in further publications.

Keywords: automation, fuzzy logic, plan-graphic, artificial intelligence.

Постановка проблеми. Современное развитие информационных технологий повысило степень использования математических методов в планировании транспортных процессов [1]. Так, стало возможным использование математического моделирования для автоматизации систем планирования и управления. Одним из подходов к решению задачи автоматизации процесса управления железнодорожной системой предприятия является автоматизация оперативного планирования переработки вагонопотока. При создании системы, способной строить суточный план-график по поступающим данным, может появиться трудноразрешимая проблема – проблема создания оптимального плана действий для поступающего на подъездной путь вагонопотока. Задача является актуальной для большинства предприятий или железнодорожных станций, так как от операций с вагонопотоком зависит его время пребывания на подъездных путях, следовательно, затрагивается вопрос экономии.

При этом в современных рыночных условиях эффективность работы предприятий напрямую зависит от оперативности принятия решений, а, следовательно, от скорости обработки информации. Так как в основном эта информация имеет не выраженный или нечеткий характер, а работа предприятий подвержена влиянию случайных факторов, то математический аппарат, необходимый для эффективной обработки информации и принятия решений, – это методы искусственного интеллекта.

Анализ последних исследований и публикаций. Большая часть методов для облегчения построения суточных план-графиков применимы лишь в узких рамках и базируется на упрощенных моделях действительности и жестких ограничениях, что уменьшает эффективность таких методов и часто приводит к неверным решениям [2].

Кроме того, специфика транспортной отрасли такова, что для осуществления эффективного управления существующих информационных систем уже недостаточно. Экспериментировать в реальных условиях, применяя различные управляющие воздействия и изучая реакцию, неэффективно и практически невозможно. Настала необходимость использования имитационного моделирования на основе систем искусственного интеллекта. Они позволяют разрабатывать и представлять наглядные и содержательные модели систем в форме правил нечетких продукций.

Ведущие ученые в области интеллектуальных систем (Teodor Gabriel Crainic, Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin) уверены, что необходимо развивать программные компоненты транспортных систем и вводить новые современные технологии, в том числе в системы поддержки принятия решений, что может значительно повысить производительность транспортных систем [3].

Наличие фактической неопределенности между началом и концом в некоторых процессах способствует появлению неопределенности в принятии решений. В этих условиях инструменты нечеткой логики – оптимальный выбор. В виде инструмента, который сможет быстро и эффективно помочь диспетчеру в планировании суточного графика или в некоторых ситуациях составить план-график автоматически, является правила нечеткой логики.

Благодаря гибкости правил нечеткой логики, такой инструмент способен охватить значительное количество возможных ситуаций на предприятии. Единственное условие для качественного результата работы – это глубокая проработка правил. Метод будет выгоднее еще и тем, что правила для предприятия нужно формировать лишь однажды [3].

Цель статьи – построение модели нечеткого вывода для принятия решений об оптимальном распределении грузопотоков, прибывающих в железнодорожных вагонах на подъездные пути предприятий, по грузовым фронтам погрузки-выгрузки.

Изложение основного материала. Нечеткая логика, прежде всего, представляет собой логическую систему, являющуюся расширением многозначной логики. Ее аппарат предназначен для обеспечения формальных основ градуированного подхода к нечеткости. Под градуированным подходом подразумевается общий принцип мышления, при котором выясняется, в какой мере исследуемый объект обладает определенным свойством, полностью или частично,

поскольку это свойство нечётко. Например, «достаточно свободное расписание». Происходит оценка интенсивности свойств объектов. Иначе говоря, применением этого аппарата является создание математической модели естественных человеческих рассуждений, в которых ключевую роль играет естественный язык.

Для достижения поставленной цели построим математическую модель распределения вагонопотоков по грузовым фронтам (ГФ) с использованием нечеткой логики.

В общем виде задача для построения математической модели будет следующей: состав поступает на подъездной путь. Необходимо указать возможные действия состава относительно его разделения по грузовым фронтам, а также выполнения дополнительных операций. В задаче учитываются: количество ГФ, типизация состава (вагоны одного/нескольких типов), следующий состав по расписанию, а также наличие и количество дополнительных операций.

Очень важным моментом в использовании нечёткой логики являются правила. Для формирования правил необходимо словесно указать возможные состояния параметров задачи и возможные пути решения.

Возможные состояния параметров задачи:

1. Количество ГФ. Состояния: очень мало, несколько, достаточно, много.
2. Типизация состава. Состояния: однотипный, преимущественно однотипный, разнообразный, совершенно разнообразный. Если состав разнообразный – вагоны распределяются по ГФ с учётом специфики груза.
3. Прибытие следующего состава. Состояния: отсутствует (не сегодня), нескоро (составы, скорее всего, не будут мешать друг другу), скоро.
4. Наличие дополнительных операций. Состояния: отсутствуют, есть.

Возможные действия с составом в рамках поставленной задачи:

1. Отправить весь состав на один ГФ (с учётом грузов и типа вагонов).
2. Равномерно распределить на все ГФ.
3. Задействовать часть ГФ, учитывая особенности состава и расписания прибытия следующих составов.

Действия с составом, связанные с дополнительными операциями:

1. Игнорировать дополнительные операции (отправить вагоны ожидать, если вагоны не нуждаются в дополнительных операциях).
2. Равномерно распределить на все ГФ, где возможна соответствующая дополнительная операция.

Для качественного решения необходимо большое количество правил, которые описывают различные возможные ситуации, поэтому представление правил в виде таблицы является удобным решением.

Таблица

Таблица правил для распределения вагонопотоков по ГФ

№	Текущие параметры			Правила (номер)		
	Кол-во ГФ	Тип состава	След. состав	Доп. оп.	Действия по ГФ	Действия по доп. оп.
1	оч. мало	однотип.	отсутствует	нет	1	1
2	мало	разнообр.	скоро	есть	3	3
3	достаточно	однотип.	скоро	нет	3	1
4	мало	не однот.	скоро	есть	3	3
5	много	не однот.	отсутствует	нет	2	1

Рассмотрим подробнее те правила, которые будут нужны при последующем решении:

«Правило 40. Если грузовых фронтов мало, состав преимущественно однотипный, следующий состав прибывает скоро и есть дополнительные операции, то следует задействовать часть ГФ, учитывая особенности состава и расписания прибытия следующих составов, а после – равномерно распределить вагоны на все ГФ, где возможны соответствующие дополнительные операции».

«Правило 63. Если грузовых фронтов мало, состав однотипный, следующий состав прибывает нескоро и нет необходимых для выполнения дополнительных операций, то следует за-

действовать все ГФ, учитывая особенности состава, а после – отправить вагоны ожидать на выставную».

Чтобы аппарат нечёткой логики смог интерпретировать описанные выше словесные формулировки, необходимо задать для каждого параметра функцию принадлежности. Функцией принадлежности $\mu_A(X)$ является математическая функция, задающая степень, с которой элементы (свойства) множества X принадлежат заданному нечеткому множеству A . Чем больше аргумент X соответствует нечеткому множеству A , тем больше значение $\mu_A(X)$, т.е. тем ближе значение аргумента к 1. Иначе говоря, функция определяет уверенность, что параметр обладает определённым свойством.

Очень часто, из-за удобства, простоты и универсальности функция принадлежности свойств большинства параметров описывается трапециевидной функцией [4]. В общем виде функция имеет следующий вид:

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{c-a}, & \text{если } a < x < c; \\ 1, & \text{если } c \leq x \leq d; \\ \frac{b-x}{b-d}, & \text{если } d < x < b; \\ 0, & \text{если } x \geq b. \end{cases} \quad (1)$$

где a, b, c, d – границы, в которых указанное значение (x -свойство) обладает ненулевой степенью истинности.

Процесс введения функций принадлежности называется фаззификацией или введением нечеткости. При этом возможна ситуация, когда несколько термов могут быть активны. На данном этапе устанавливается соответствие между численным значением входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующей ей лингвистической переменной. Термы нечёткой логики очень удобно отображать с помощью графика его функции принадлежности. Поступим таким образом и для поставленной задачи, и рассмотрим уже фаззифицированные параметры (рис. 1-3).

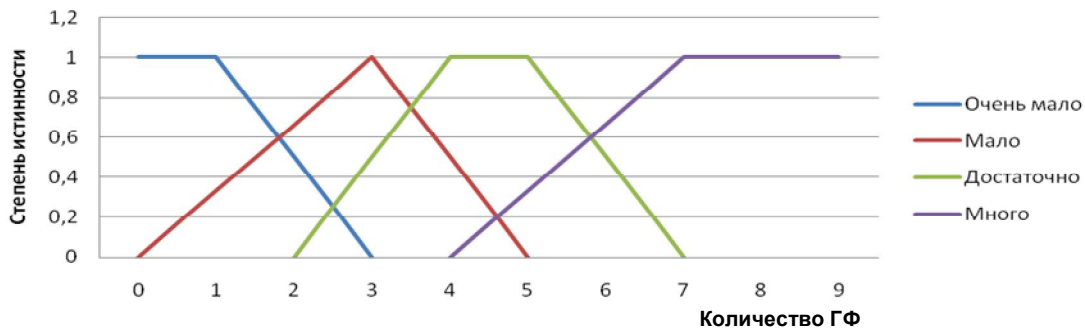


Рис. 1 – Функции принадлежности термов для переменной «количество ГФ»

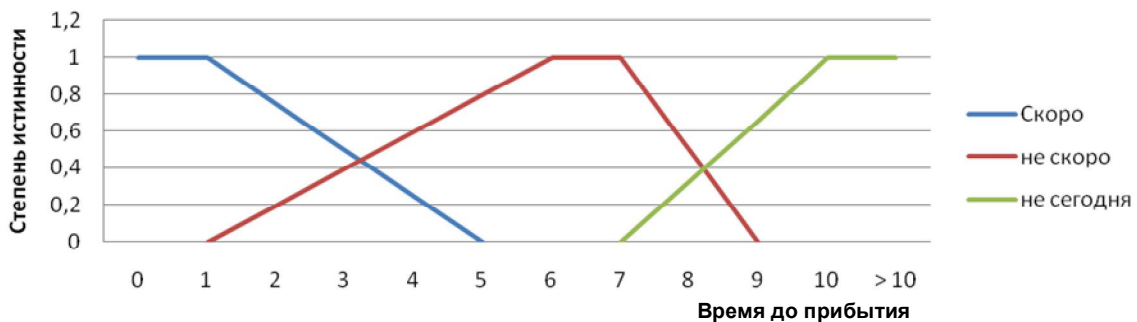


Рис. 2 – Функции принадлежности термов для переменной «Прибытие следующего состава»

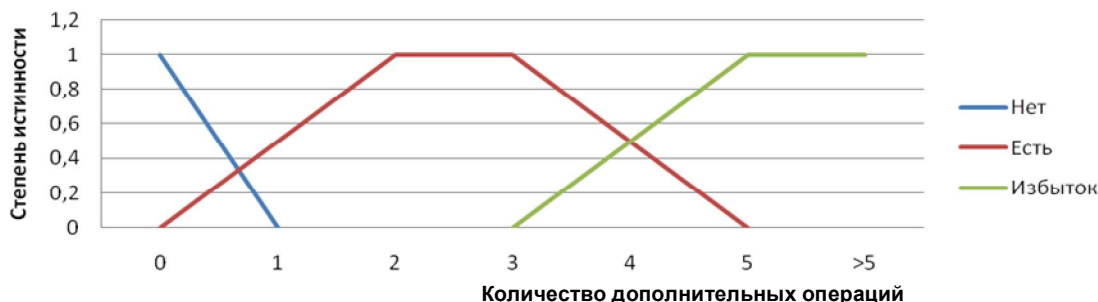


Рис. 3 – Функции принадлежности термов для переменной «Наличие дополнительных операций»

Таким образом, можно с лёгкостью описать и фаззифицировать множество параметров, которые, так или иначе, влияют на проведение операций с вагонопотоком. Кроме того, в данной задаче есть параметр, который назван «типизация состава». В его оценке может возникнуть некоторая трудность, так как можно сказать, что состав «однообразный» или «совершенно разнообразный», однако для решения с помощью нечёткой логики необходимо указать чёткий, числовой эквивалент параметра.

Сформируем критерий для оценки «разнообразия» состава. Для этого сформируем такую функцию, область значений которой лежала бы в пределах от 1 до 10, где наименьшее значение – это однотипный состав, а наибольшее значение – совершенно разнообразный. Представим эту функцию:

$$V = 10 \frac{n_d}{n}, \tag{2}$$

- где V – оценка «разнообразия» состава;
- n_d – количество отцепов, то есть таких групп одинаковых вагонов, которые находятся в неотсортированном составе рядом друг с другом;
- n – общее количество вагонов в составе.

Теперь, когда получен достаточно простой критерий оценки, рассмотрим фаззификацию данного параметра. Значение по оси абсцисс – значение критерия оценки разнообразия состава (рис. 4).

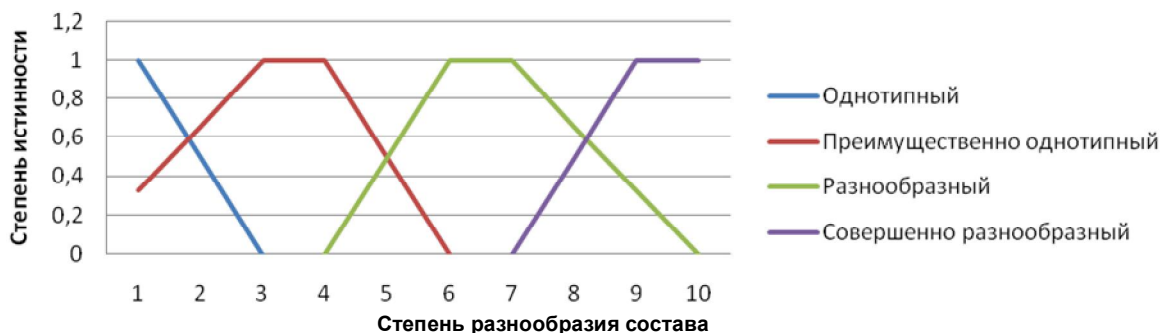


Рис. 4 – Функции принадлежности термов для переменной «Разнообразие состава»

После получения фаззифицированных переменных можно приступить к решению поставленной задачи. За решение с помощью нечёткой логики отвечает следующий этап – агрегирование, который определяет степени истинности каждого из свойств параметров, из которых затем выделяется единственное активное свойство (в зависимости от выбранного алгоритма отбора обычно используются операции \min [минимум] или prod [умножение]). После этого происходит выбор правила, параметры которого совпадают с отобранными активными свойствами решаемой задачи.

Для нахождения единственного активного терма (параметра) следует воспользоваться следующей предложенной формулой (по алгоритму Мамдани [5] происходит выбор активного

варианта с меньшей степенью истинности):

$$\mu'(y) = \min_{C_i} \{\mu(y)\}, \tag{3}$$

где $\mu'(y)$ – итоговая степень истинности;
 $\mu(y)$ – степень истинности активных функций принадлежности;
 c_i – активные лингвистические термы (параметры).

Например, пусть значение коэффициента разнообразия равняется 9. В этом случае активируется два термина: разнообразный и совершенно разнообразный. По формуле (3), проверяя значение функции принадлежности каждого из термов (см. рис. 5), выбираем терм с наименьшим значением – «разнообразный».

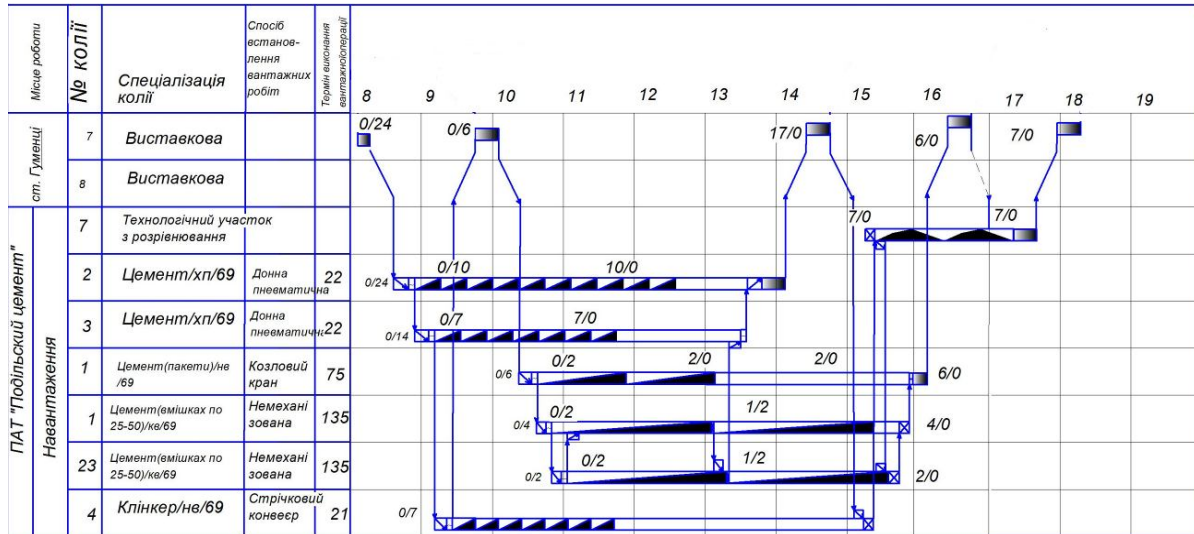


Рис. 5 – Итоговый план-график

В итоге полученные результаты всех выходных переменных на предыдущих этапах преобразуются в обычные количественные значения каждой из выходных переменных. Этот процесс называется дефазификацией. Таким образом, конечный пользователь получает число, которое, в зависимости от задачи, можно интерпретировать как кодовую команду или как некий показатель. В примере, который будет описан ниже, пользователь получит пару рекомендаций, которыми следует воспользоваться для построения оптимального суточного план-графика. В этот момент задача может считаться решённой.

Теперь, когда сформированы необходимые для решения данные, такие как функции принадлежности и способ агрегирования, можно приступить к апробации полученной модели в реальных условиях функционирования предприятия. Стартовые условия задачи указываются в словесной форме, которые используются в правилах (параметры указаны в описании функций принадлежности), из которых затем и формируется решение: на подъездной путь прибывает состав из 24 вагонов. Нужно разгрузить 7 полувагонов с клинкером и 17 хoppers с цементом. Через час прибывает другой состав (2 полувагона с цементом в пакетах и 4 с цементом на выкидках).

Тогда при выборе итоговой степени истинности определяется лингвистическая переменная для проверяемого параметра; после осуществления выбора для каждого параметра задачи происходит поиск соответствующего правила. Если вернуться к поставленной задаче и оценить сложившуюся ситуацию, то мы получим следующие состояния параметров: количество грузовых фронтов – 4, по алгоритму Мамдани [формула (3)] – «мало», наличие дополнительных операций – «есть», прибытие следующего состава – через час, то есть «скоро», разнообразие состава – воспользовавшись формулой (2), получим:

$$V = 10 \frac{n_d}{n} = 10 \frac{2}{24} = \frac{1}{12} = 0,833.$$

Сверившись с функциями принадлежности, получаем «преимущественно однотипный». Воспользовавшись соответствующим правилом (правило №40, по маркировке примера), опре-

делим оптимальные действия (смотреть вставку правил выше).

Однако в начальных условиях также фигурирует состав, приходящий через время. Для второго состава ситуация будет почти такая же, с той поправкой, что после него не будет других составов и вагоны этого состава не нуждаются в дополнительных операциях. Тогда воспользуемся соответствующим правилом (№63, по маркировке примера). Воспользуемся предложенными рекомендациями и сформируем конечный план-график (рис. 5).

Из рисунка видно, что сформированный итоговый план-график является хорошо оптимизированным и доказывает, что применение нечёткой логики является эффективным для оперативного планирования. Использование этого аппарата имеет большой потенциал для развития железнодорожных перевозок и повышения их конкурентоспособности. При этом при сравнении построенного плана-графика и фактических данных, полученных на предприятии, сокращение времени на перегрузочные операции может достигать 15%, а уменьшение затрат на подготовительные операции по перегрузке вагонопотоков на грузовых фронтах – 20%.

Остались нерассмотренными вопросы по интегрированному взаимодействию автомобильного, железнодорожного и других видов транспорта, а также перегрузочной техники на предприятиях или в крупных промышленных узлах и их влияние на систему нечеткого вывода. Также не рассмотрены вопросы использования нейронных сетей для обучения построенной модели. Поэтому в дальнейшем необходимо развитие интеграционных моделей распределения грузопотоков по фронтам погрузки выгрузки на основе научных теорий логистики, управления и методов искусственного интеллекта.

Выводы

1. Существующие методы распределения вагонопотоков предприятий по фронтам погрузки выгрузки не учитывают нечеткость в параметрах потока вагонов и работы перегрузочной техники, а так же слишком упрощены и жестко привязаны к конкретным условиям работы предприятий. Для решения указанных недостатков необходимо использование методов нечеткой логики.

2. Благодаря гибкости правил нечёткой логики, такой инструментарий способен охватить значительное количество возможных ситуаций на предприятии. Единственное условие для качественного результата работы – это глубокая проработка правил, которые формируются лишь однажды.

3. Использование методов нечеткой логики при распределении вагонопотоков предприятий по фронтам погрузки-выгрузки позволит сократить время на перегрузочные операции до 15% и уменьшить затраты на подготовительные операции по перегрузке вагонопотоков на грузовых фронтах до 20%.

Список использованных источников:

1. Киркин А.П. Управление транспортными процессами доставки грузов в городских условиях с дополнением критериев логистики / А.П. Киркин, В.И. Киркина // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2013. – № 5 (194) ч. 2 – С. 61-67.
2. Короп Г.В. Удосконалення оперативного планування обробки вагонопотоків в транспортних системах підприємств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.12 / Г.В. Короп; Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганськ., 2012. – 20 с.
3. Новак В. Математические принципы нечёткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкож. – М. : Физматлит, 2006. – 352 с.
4. Дьяконов А.П. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник / А.П. Дьяконов, В.В. Круглов. – СПб. : Питер, 2001. – 480 с.
5. Sandler Uziel. Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic / Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky. – Springer, 2008. – 478 p.

References:

1. Kirkin A.P. Upravlenie transportnymi protsessami dostavki gruzov v gorodskikh usloviikh s dopolnieniem kriteriev logistiki [Management of transport processes of delivery of freights in city conditions with addition of criteria of logistics]. *Visnik Shhidnoukrains'kogo natsional'nogo uni-*

versitetu imeni Volodimira Dalia – Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian national university, Luhansk, 2013, no. 5 (194), vol. 2, pp. 61-67. (Rus.)

2. Korop G.V. *Sovershenstvovanie operativnogo planirovaniia obrabotki vagonopotokov v transportnoi sistemakh predpriatii*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Improvement of operational planning of processing traffic volumes in transport systems of the enterprises. Thesis of cand. tech. sci. diss.]. Lugansk, 2012. 20 p. (Ukr.)
3. Novak V., Perfil'eva I., Mochkrozh I. *Matematicheskie printsipy nechetkoi logiki* [Mathematical Principles of Fuzzy Logic]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 352 p. (Rus.)
4. D'yakonov A.P., Kruglov V.V. *Matematicheskie pakety rasshireniia Matlab. Spetsial'nyi spravochnik* [Mathematical expansion packs Matlab. A special handbook]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2001. 480 p. (Rus.)
5. Sandler Uziel, Tsitolovsky Lev. *Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic*. Springer, 2008. 478 p.

Рецензент: В.К. Губенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 31.10.2016