

УДК 652.02

## МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГРУЗОПОТОКАМИ В ТЯНУЩИХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Булгакова Ю.В.

## THE DECISION-MAKING MODEL ON CARGO FLOWS MANAGEMENT IN PULL TYPE LOGISTICS SYSTEM

Bulgakova J.

*В статье предложена математическая модель принятия решения по управлению параметрами грузопотока в тянущей логистической системе, перемещения груза в которой визуализировано и управляется с помощью карт канбан. Модель основана на совместном применении аппарата цепей Маркова для моделирования параметров, характеризующих логистические издержки в системе, а та же нечеткого логического вывода Мамдани для принятия решения о выборе параметров грузопотока по критерию «логистические затраты». Реализация модели продемонстрирована на примере доставки котлов из цеха-производителя на линию сборки.*

**Ключевые слова:** тянущая логистическая система, нечеткий логический вывод Мамдани, цепь Маркова, логистические затраты.

**Введение.** В современных экономических условиях украинским промышленным предприятиям необходимо сохранять организационно-экономическую устойчивость, то есть способность быть финансово-стабильными при постоянном изменении рыночной конъюнктуры путем совершенствования и целенаправленного развития производственно-технологической и организационной структуры методами логистико-ориентированного управления [1]. Эти методы направлены на учет и минимизацию логистических затрат в ЛС.

Одним из методов логистико-ориентированного управления, который является общепризнанным в мировой практике, является принцип вытягивания материального потока из логистической цепи в количестве, которое соответствует спросу. Логистические системы (ЛС) с таким принципом управления называют тянущими ЛС.

Вытягивание грузопотока обеспечивается с помощью метода визуального управления карт-канбан. Общий принцип такого управления состоит в следующем: грузопоток перемещается стандартными партиями, размер которой определен параметрами

техники. Одна карта канбан инициирует производство и перемещение одной партии. После производства партия хранится на складе производственного цеха лимитированной вместимости. В цехе-получателе есть место для хранения только одной партии груза, потому что партии перемещаются из цеха-производителя по необходимости. Три инструмента регулируют перемещение грузопотока: набор карт канбан и карты в виде электронных сообщений, доска для карт канбан.

В непредвиденных ситуациях производственные подразделения могут скорректировать свою работу путем изменения количества карт.

Производственные ЛС функционируют в условиях воздействия большого числа рисков разного характера и разной природы: риски макро-среды, риски бизнес-окружения, физические риски (связанные с вероятностным характером наступления событий), лингвистические риски (являются причиной субъективных оценок ЛПР в процессе принятия решений).

**Постановка проблемы.** Эффективность методов логистико-ориентированного управления ЛС тянущего типа заметно снижается в условиях нестабильности спроса и воздействия огромного числа факторов неопределенности среды функционирования ЛС. Возникает необходимость разработки методов управления тянущими логистическими системами, которые обеспечат регулирование параметров грузопотоков в ЛС в режиме реального времени и позволят учесть характер неопределенности с помощью корректно-подобранных математических аппаратов.

**Анализ публикаций** выполнен по двум критериям: 1. Показатели, которые авторы выбрали в качестве показателей логистических издержек; 2. Математические методы, которые использовали авторы для моделирования процессов принятия решений по управлению грузопотоками в тянущих ЛС.

В [2,3] в качестве показателей логистических затрат авторы использовали: уровень межоперационного запаса, время переналадки оборудования, время ожидания в цехах, доля обслуженных заявок без ожидания, доля обслуженных заявок, суммарные финансовые логистические затраты. В большинстве работ решение принималось в рамках одного из критериев.

По характеру неопределенность в ЛС может быть физической либо лингвистической [4].

В [2,6,7] физическую неопределенность авторы учитывали в моделях, основанных на теории очередей, робастной оптимизации, Паретто-оптимизации. Недостатком этих моделей является лимитированное количество критериев, входящих в модель.

В [1,6,7] логистические затраты представлены в виде функции минимизации затрат. Недостатком такого подхода является невозможность учесть качественные критерии в моделях принятия решений, быстрая утрата актуальности такого решения по причине нестабильных стоимостных показателей.

Есть и модели, основанные на теории нечетких множеств, которые решают проблемы: производственного расписания, размера партии и управления запасами, определение времени такта производственной линии. Эти модели включают конфликтующие цели при принятии решений, например, уменьшение перемещаемой партии груза ведет к уменьшению затрат на хранение, но увеличивает транспортные затраты.

**Целью статьи** является разработка математической модели поддержки принятия решений по управлению параметрами грузопотоков тянущей ЛС, управляемой картами канбан, в режиме реального времени. Модель основана на совместном применении аппарата цепей Маркова и нечеткого логического вывода Мамдани, что обеспечит одновременно учесть физическую и лингвистическую неопределенность среды функционирования ЛС в управлении.

**Основное содержание.** Для управления тянущей производственной ЛС в режиме реального времени необходимо обеспечить оперативное принятие двух типов решений:

1. Решение по определению оптимального количества заказов, которое возникает на этапе составления производственных планов и суточных план-графиков для производственных и транспортных подразделений. Математическая модель принятия такого решений была рассмотрена в [8].

2. Решение по определению оптимальных параметров заказов (интенсивность поступления заказа -  $\lambda$ , интенсивность обслуживания заказа -  $\mu$ ), которые обеспечат выполнения конкретного объема работы системой. Необходимость в таком решении возникает в случае наступления внештатной ситуации, например, сбое в работе производственного оборудования, поломки транспортных средств и т.д., когда потрачено некоторое время на ремонтные работы и необходимо ускорить движение грузопотока

для дальнейшего перехода работы тянущей системы на запланированный режим.

Под интенсивностью поступления понимаем количество требований на производство и транспортировку партии груза в единицу времени. Под интенсивностью обслуживания понимаем количество партий груза, произведенного и перевезенного из цеха-производителя в цех-получатель в единицу времени.

Что бы предотвратить перегрузку производственной мощности, необходимо максимально приблизить интенсивность обслуживания заказов к проектной производительности цеха-производителя.

Вопрос принятия решений по управлению параметрами грузопотоков в тянущей ЛС рассмотрен на примере перемещения одного вида груза между цехом-отправителем и цехом-получателем. Альтернативами для принятия такого решения являются возможные пары параметров грузопотока ( $\lambda$ ,  $\mu$ ). Критерием оценки альтернатив является уровень логистических издержек в системе, который возникает при функционировании системы с заданными параметрами. Причем критерий «уровень логистических издержек» включает четыре показателя: уровень межоперационного запаса на складе цеха-отправителя -  $y$ , время ожидания партии груза в цехе-отправителе -  $v_{ож}$ , количество заявок, обслуженных без ожидания -  $P_{об.н}$ , количество обслуженных заявок -  $P_{об}$ .

Отдается предпочтение альтернативе, которая соответствует двум требованиям: 1. Обеспечивает минимальный уровень логистических затрат в ЛС; 2. Максимально приближена к проектной производительности цеха-производителя.

Как было отмечено выше, ЛС функционирует в условиях лингвистической и физической неопределенности. Поэтому для разработки математической модели принятия решения выбраны: аппарат цепи Маркова для моделирования показателей работы ЛС; теория нечетких множеств, для многокритериальной оценки альтернатив.

Рассмотрим основные этапы реализации математической модели принятия решений по определению параметров грузопотока на примере перемещения котлов вагонов цистерн из котлового цеха в цех сборки на вагоностроительном заводе.

1. Задание исходных данных и альтернатив: количество заказов, которые необходимо выполнить ( $K$ ), – 10 ед; реальная производительность цеха ( $\mu_p$ ) – 10 ед; проектная производительность цеха ( $\mu_{пр}$ ) – 15 ед; емкость склада для хранения груза в цехе-отправителя ( $Q_{max}$ ) – 4 ед.

Возможные пары параметров ( $\lambda$ ,  $\mu$ ) приведены в табл. 1.

2. Расчет значений показателей, характеризующих логистические издержки. Рассматриваемую систему, состоящую из цеха-отправителя, цеха-получателя и циркулирующих между ними партий груза можно представить в виде Марковской системы

массового обслуживания типа M/M/1/1. Реализация данной модели позволяет определить значения показателей, характеризующих логистические издержки для всех возможных альтернатив параметров грузопотока. На основании модели, описанной в [2] выполнены расчеты и получены следующие значения логистических затрат, приведенные в табл.1.

3. Расчет страхового запаса с помощью вероятностной модели управления запасами [9]:

$$Q = k\sqrt{m_{LT}\sigma_D^2 + (\sigma_{LT}m_D)^2}, \quad (1)$$

где  $Q$  – размер страхового запаса;

$m_{LT}$  – математическое ожидание времени пополнения запаса;

$\sigma_D$  – среднеквадратическое отклонение потребности в запасе;

$\sigma_{LT}$  – среднеквадратическое отклонение времени пополнения запаса;

$m_D$  – средняя потребность в запасе.

$k$  - значение функции Лапласа для заданной вероятности бесперебойной выдачи запаса  $P$ .

Поскольку известны законы распределения входящего потока и потока требований (законы определены для цепей Маркова: входящий поток – закон Пуассона, поток обслуживания – экспоненциальный), математическое ожидание пуассоновского распределения –  $\lambda$ , среднеквадратическое отклонение –  $\lambda^{1/2}$ ; для экспоненциального закона распределения математическое ожидание –  $\mu^{-1}$ , среднеквадратическое отклонение –  $\mu^{-1}$ . На основании этого выведена формула для расчета нижней границы - страхового запаса для пуассоновского входящего потока и экспоненциального потока обслуживания:

$$Q_{\min} = k\sqrt{\mu^{-1} \cdot \lambda^{1/2} + \mu^{-1} \cdot \lambda} = k\sqrt{\frac{1}{\mu}(\lambda^{1/2} + \lambda)} \quad (2)$$

Расчеты выполнены для всех альтернатив ( $\lambda$ ,  $\mu$ ), результаты приведены в табл.1.

4. Задание исходных данных и реализация нечеткого логического вывода (НЛВ) Мамдани в среде MATLAB для принятия многокритериального решения в условиях лингвистической неопределенности [8]. Исходными данными являются:

а) входные лингвистические переменные (параметры, характеризующие логистические издержки в ЛС: уровень межоперационного запаса на складе цеха-отправителя, время ожидания партии груза в цехе-отправителе, количество заявок, обслуженных без ожидания, количество обслуженных заявок);

б) выходная лингвистическая переменная – уровень логистических затрат;

в) функции принадлежности термов лингвистических переменных. Выбран гауссовский тип функции принадлежности с пятью термами: очень хорошо – ОХ, хорошо – Х, удовлетворительно – У, плохо – П, очень плохо – ОП. Функция задается двумя параметрами  $\{c, b\}$ : экстремум –  $c$ , коэффициент концентрации –  $b$ . На основании анализа особенностей функционирования рассматриваемой ЛС разработан подход к построению функций принадлежности [8]. Значения параметров функций входных и выходных лингвистических переменных рассчитаны по правилам, приведенным в табл.3.

Графики функций лингвистических переменных «вероятность обслуживания заказа», «вероятность обслуживания заказа без ожидания» и «уровень логистических затрат» (выходная) заданы на основе оценок лингвистической интерпретации значений качественных показателей (табл. 2)

Экстремум функций терма «очень хорошо» лингвистической переменной «уровень межоперационного запаса» изменяется в зависимости от уровня минимально-допустимого запаса, необходимого для поддержания непрерывного процесса производства –  $Q_{\min}$ . Экстремум функции принадлежности терма «удовлетворительно» фиксирован максимально-допустимым уровнем межоперационного запаса –  $Q_{\max}$ , который определяется емкостью цехового склада.

Таблица 1

Значения показателей работы ТС для разных значений интенсивности движения в системе

| № альтернативы | $\lambda$ | $\mu$ | $\rho$ | $\nu_{ож}$ | $P_{об}$ | $P_{об.н}$ | $y$  | $Q_{\min}$ |
|----------------|-----------|-------|--------|------------|----------|------------|------|------------|
| 1              | 10        | 11    | 0,91   | 0,005      | 0,95     | 0,9        | 5,66 | 2,24       |
| 2              | 10        | 12    | 0,83   | 0,003      | 0,97     | 0,944      | 6,54 | 2,14       |
| 3              | 10        | 13    | 0,77   | 0,001      | 0,99     | 0,97       | 7,21 | 2,06       |
| 4              | 10        | 14    | 0,71   | 0,0007     | 0,99     | 0,98       | 7,72 | 1,98       |
| 5              | 10        | 15    | 0,67   | 0,0003     | 0,99     | 0,99       | 8,1  | 1,92       |
| 6              | 11        | 12    | 0,92   | 0,0047     | 0,95     | 0,89       | 5,5  | 2,24       |
| 7              | 11        | 13    | 0,85   | 0,002      | 0,97     | 0,94       | 6,4  | 2,15       |
| 8              | 11        | 14    | 0,79   | 0,001      | 0,98     | 0,96       | 7,05 | 2,07       |
| 9              | 11        | 15    | 0,73   | 0,0008     | 0,99     | 0,98       | 7,55 | 2          |
| 10             | 12        | 13    | 0,92   | 0,0045     | 0,95     | 0,89       | 5,49 | 2,24       |
| 11             | 12        | 14    | 0,86   | 0,0026     | 0,97     | 0,93       | 6,27 | 2,15       |
| 12             | 12        | 15    | 0,80   | 0,0015     | 0,98     | 0,96       | 6,9  | 2,08       |
| 13             | 13        | 14    | 0,93   | 0,0044     | 0,95     | 0,89       | 5,4  | 2,23       |
| 14             | 13        | 15    | 0,87   | 0,0042     | 0,94     | 0,89       | 5,4  | 2,16       |
| 15             | 14        | 15    | 0,93   | 0,0042     | 0,94     | 0,88       | 5,4  | 2,23       |

Таблиця 2

| Оценка лингвистической интерпретации значений качественных показателей [10] |                                 |
|---|---------------------------------|
| Лингвистическая оценка  | Значения функции принадлежности |
| Очень хорошо  | 1.00 - 0.80                     |
| Хорошо  | 0.80 - 0.63                     |
| Удовлетворительно   | 0.63 - 0.37                     |
| Плохо   | 0.37 - 0.20                     |
| Очень плохо   | 0.20 - 0.00                     |

Таблиця 3

| Терм множества | Функция принадлежности терма                        |   |                         |                          |                    |
|----------------|---|---|-------------------------|--------------------------|--------------------|
|                | $\mu(y)$  | $\mu(v_{ож})$   | $\mu(P_{об})$           | $\mu(P_{об.н})$          | $\mu(LC)$          |
| ОХ             | $\{Q_{\min}; c_y\}$                                 | $\{0; c_{v_{ож}}\}$   | $\{1; c_{P_{об}}\}$     | $\{1; c_{P_{об.н}}\}$    | $\{0; c_{LC}\}$    |
| Х              | $\left\{\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2}; c_y\right\}$ | $\left\{\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right); c_{v_{ож}}\right\}$                       | $\{0, 8; c_{P_{об}}\}$  | $\{0, 8; c_{P_{об.н}}\}$ | $\{0, 3; c_{LC}\}$ |
| У              | $\{Q_{\max}; c_y\}$                                 | $\left\{\left(\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) Q_{\min}\right); c_{v_{ож}}\right\}$ | $\{0, 6; c_{P_{об}}\}$  | $\{0, 6; c_{P_{об.н}}\}$ | $\{0, 5; c_{LC}\}$ |
| П              | $\{0; c_y\}$  | $\left\{\left(\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) y\right); c_{v_{ож}}\right\}$        | $\{0, 45; c_{P_{об}}\}$ | $\{0, 4; c_{P_{об.н}}\}$ | $\{0, 7; c_{LC}\}$ |
| ОП             | $\{1; c_y\}$  | $\left\{\left(\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) Q_{\max}\right); c_{v_{ож}}\right\}$ | $\{0; c_{P_{об}}\}$     | $\{0; c_{P_{об.н}}\}$    | $\{1; c_{LC}\}$    |

Для построения функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «время ожидания погрузки в цехе-отправителе» внесены следующие ограничения: (1) интенсивность поступления должна быть меньше интенсивности обслуживания  $\mu \geq \lambda$ , что является обязательным условием, поскольку в противном случае ЛС не будет успевать справляться с выпуск необходимого количества продукции; (2)  $v_{ож} \rightarrow 0$ ; (3) если  $v_{ож} \in \left[0; \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right]$ , то в результате возникших простоев транспортных средств в ожидании погрузки, не будет образования очереди даже в случае отсутствия страхового запаса; (4) если  $v_{ож} > \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right)$ , то в системе при отсутствии страхового запаса будет образовываться очередь, что является допустимым; (5) если  $v_{ож} \in \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}; \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) \cdot Q_{\min}\right)$ , то возникшая очередь будет ликвидирована за счет страхового запаса  $Q_{\min}$ . (6) Страхового запаса хватит на время равное

$\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) \cdot Q_{\min}$ . (6) при  $v_{ож} \in \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}; \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) \cdot y\right)$ , то возникшая в системе очередь будет ликвидирована только, если запас  $Y$  превышает уровень страхового  $Q_{\min}$ ; (7)  $v_{ож} > \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}\right) \cdot y$ , то система будет находиться в критической ситуации, поскольку запаса в системе не хватит, что бы ликвидировать возникшую очередь.

Следует отметить, что параметры функций лингвистических переменных «вероятность обслуживания заказа», «вероятность обслуживания заказа без ожидания», «уровень логистических затрат» остаются неизменными для всех альтернатив пар  $(\lambda, \mu)$ , а параметры функций переменных «уровень межоперационного запаса» и «время ожидания в цехе-отправителе» рассчитываются заново для всех альтернатив. Это основное отличие расчета математической модели управления параметрами грузопотока от математической модели управления объемом грузопотока. Значения параметров функций принадлежности термов лингвистических переменных для всех альтернатив приведены в табл.4.

Таблица 4

Результаты реализации модели в среде Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB)

| № альтернативы | $\lambda$ | $\mu$ | $\rho$ | LC    |
|----------------|-----------|-------|--------|-------|
| 1              | 10        | 11    | 0,91   | 0,600 |
| 2              | 10        | 12    | 0,83   | 0,684 |
| 3              | 10        | 13    | 0,77   | 0,690 |
| 4              | 10        | 14    | 0,71   | 0,688 |
| 5              | 10        | 15    | 0,67   | 0,688 |
| 6              | 11        | 12    | 0,92   | 0,576 |
| 7              | 11        | 13    | 0,85   | 0,670 |
| 8              | 11        | 14    | 0,79   | 0,689 |
| 9              | 11        | 15    | 0,73   | 0,695 |
| 10             | 12        | 13    | 0,92   | 0,576 |
| 11             | 12        | 14    | 0,86   | 0,660 |
| 12             | 12        | 15    | 0,80   | 0,689 |
| 13             | 13        | 14    | 0,93   | 0,580 |
| 14             | 13        | 15    | 0,87   | 0,576 |
| 15             | 14        | 15    | 0,93   | 0,556 |

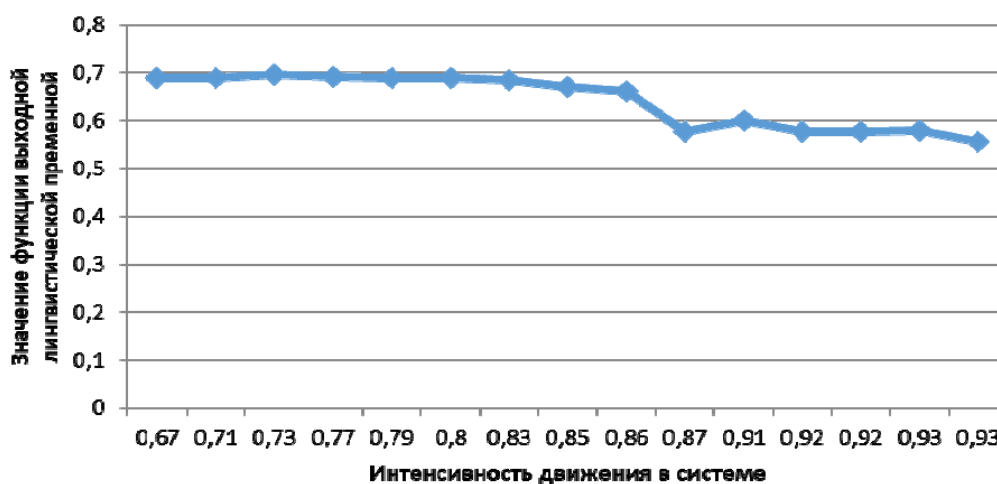


Рис. График зависимости значения выходной лингвистической переменной «уровень логистических издержек» от интенсивности движения

г) база правил НЛВ на основе логического оператора «И» задается исходя из субъективных оценок и опыта ЛПР.

5. Расчет значений входных и выходной лингвистической переменной для всех альтернатив в среде MATLAB Fuzzy Logic Tool Box (табл. 4, рис.).

6. Выбор наилучшей альтернативы. По результатам расчета выбраны две альтернативы: №3 и №9, поскольку значение выходной лингвистической переменной «уровень логистических издержек» для этих альтернатив максимальное.

Поскольку интенсивность обслуживания в ЛС максимально должна быть приближена к проектной интенсивности производства интенсивности, то предпочтение отдано альтернативе № 3. То есть, оптимальными параметрами работы ЛС для объема грузопотока равного 10 котлам являются: временной интервал между поступлением требований -

$$\frac{1}{\lambda} = 0,1, \text{ время обслуживания одного требования}$$

$$- \frac{1}{\mu} = 0,08.$$

**Выводы.** 1. Системы поддержки принятия решений по управлению параметрами грузопотоков в тянущей ЛС в режиме реального времени, основанные на предложенных математических моделях позволят повысить эффективность ЛС за счет минимизации логистических затрат в системе.

2. Предложенная модель учитывает не только вероятностную неопределенность в ЛС, но и лингвистическую, что позволяет принять решение, основанное так же на ценном опыте ЛПР в данной области.

## Л и т е р а т у р а

1. Румянцев, Н. В. Моделирование гибких производственно-логистических систем / Н. В. Румянцев. – Донецк : Изд-во ДонНУ, 2004. – 235 с.
2. Kreig, G. N. Kanban-Controlled Manufacturing Systems : Lectures Notes on Economics and Mathematical Systems / G. N. Kreig. – Berlin : Heidelberg, 2005. – 238 p.
3. Канбан и «точно вовремя» на Toyota : менеджмент начинается на рабочем месте : пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2008. – 218 с.
4. Sodenkamp, M. Models, Methods and Applications of Group Multiple-criteria Decision Analysis in Complex and Uncertain Systems : dissertation / M. Sodenkamp. – Paderborn, 2013. – 221 p.
5. Луис, Р. Система Канбан. Практические советы по разработке в условиях вашей компании / пер. с англ. Е. В. Журиной; под науч. ред. Э. А. Башкардина. – М. : Стандарт и качество, 2008. – 216 с.
6. Kaganova, E. Robust solution to the CLSP and the DLSP with Unertain Demand and Online Information Base : dissertation / E. Kaganova. – Paderborn : Heinz Nixdorf Institute University of Paderborn, 2013. – 161 p.
7. Araz, O. U. Determining the parameters of dual-card kanban system : an integrated multicriteria and artificial neural network methodology / O. U. Araz, O. Eski, C. Araz // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2008. – N 38. – P. 995–997.
8. Bulgakova J. Decision making on cargo-flow management in integrated production and transportation system / J. Bulgakova // - Transport Problems: Scientific Journal. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej, 2016 – Vol. 11. – Iss. 4. – P. 83-94.
9. Bulgakova J. The model of work-in-process inventory management of rail cars building company / J. Bulgakova // -Transport Problems: Scientific Journal. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej, 2013 – Vol. 8. – Iss. 4. – P. 127-136.
10. Zimmermann, H. J. Fuzzy Set Theory and Its Applications : Fourth Edition / H. J. Zimmermann. – London : Kluwer Academic Publishers, 2001. – 514 p.8

**Булгакова Ю.В. Модель прийняття рішень із управління вантажопотоками в тягнучих логістичних системах**

*У статті запропоновано математичну модель прийняття рішення по управлінню параметрами вантажопотоку в тягнучій логістичній системі, переміщення вантажу в якій візуалізовано та управляється за допомогою карт канбан. Модель заснована на спільному застосуванні апарату ланцюгів Маркова для моделювання параметрів, що характеризують логістичні витрати в системі, а також нечіткого логічного висновку Мамдані для прийняття рішення про вибір параметрів вантажопотоку за критерієм «логістичні витрати». Реалізацію моделі продемонстровано на прикладі доставки котлів з цеху виробника на лінію збірки.*

**Ключові слова:** тягнуча логістична система, нечіткий логічний висновок Мамдані, ланцюг Маркова, логістичні витрати.

**Bulgakova J. The decision-making model on cargo flows management in pull type logistics system**

*The mathematical model of decision making on managing of cargo-flows parameters in Kanban-controlled pull-type logistics system under conditions of physical and linguistic uncertainties is proposed in the paper. The model combines Markov chains for modeling the logistic costs parameters and Mamdany's fuzzy inference for multi criterion evaluation of alternatives, which are pares of cargo flow parameters: demand rate and production rate. As logistic costs the following parameters are chosen: work-in-process, waiting time for cargo batch in production workshop, percentage of served demand and percentage of immediately served demand. Gaussian type of membership functions with five terms is chosen. The approach to terms membership functions of linguistic variables "work-in-process" and "waiting times" is developed. The numerical results were obtained in MATLAB Fuzzy Logic Toolbox on example of tanks flow between production workshop and assembly line on tank rail cars production enterprise.*

**Keywords:** pull-type logistic system, Markov chain, Mamdany's fuzzy inference, logistic costs.

**Булгакова Ю.В.** – к.т.н., доц. кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістика» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, e-mail: jlbulgakova@jmail.com

*Рецензент:* д.е.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

## R e f e r e n c e s

1. Romyantsev, N. V. Modeling of flexible production and logistics systems / N. V. Romyantsev. – Donetsk : Izd-vo DonNU, 2004. – 235 s.
2. Kreig, G. N. Kanban-Controlled Manufacturing Systems : Lectures Notes on Economics and Mathematical Systems / G. N. Kreig. – Berlin : Heidelberg, 2005. – 238 p.
3. Kanban and just in time for Toyota: management begins in the workplace: per. s angl. – М. : Alpina Biznes Bucs, 2008. – 218 с.
4. Sodenkamp, M. Models, Methods and Applications of Group Multiple-criteria Decision Analysis in Complex and Uncertain Systems : dissertation / M. Sodenkamp. – Paderborn, 2013. – 221 p.
5. Luis, R. The Kanban system. Practical advice on development in the conditions of your company / per. s angl. E. V. Zhurinoj; pod nach. red. E. A. Bashkar-dina. – М. : Standart i kachestvo, 2008. – 216 с.
6. Kaganova, E. Robust solution to the CLSP and the DLSP with Unertain Demand and Online Information Base : dissertation / E. Kaganova. – Paderborn : Heinz Nixdorf Institute University of Paderborn, 2013. – 161 p.