

Я. Рахими, Е. И. Феоктистова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ТРАНСПОРТИРОВКИ СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ

**Цель статьи** состоит в описании процесса разработки специализированной экспертной системы, с реализацией нечеткого вывода на знаниях, для поддержки принятия решений по выбору рационального маршрута в рамках создания полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, в режиме 'just-in-time'. Применение такой системы при формировании ЦПС даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат. **Результаты.** Описан процесс разработки экспертной системы для поддержки принятия решений участниками полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину. Показано, что одним из наиболее важных факторов, определяющих эффективность функционирования ЦПС, является выбор рациональных маршрутов доставки сырья, сопутствующих материалов и готовой продукции в рамках рассматриваемой цепи. Проанализированы показатели, которые необходимо учитывать при подборе транспортного средства – расположение конечных пунктов доставки, габаритов и веса груза, других его характеристик, а также показатели, определяющие рациональность маршрута – возможные остановки для питания и ночлега водителей, наличие пунктов таможенного контроля и дорожные условия (состояние покрытия, ширина дорожного полотна, погодные условия, влияющие на состояние дороги, ограничения скоростного режима на отдельных участках маршрута). В результате анализа установлен нечеткий характер указанной информации, предложено разработать специализированную экспертную систему, реализующую нечеткий вывод на знаниях. Для разработки экспертной системы использована среда MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). В техническом аспекте, для формирования решений в экспертной системе применено правило Мамдани, а для дефаззификации результата – метод центра тяжести. Приведен пример обоснованного выбора наиболее рационального маршрута из двух возможных вариантов.

**Ключевые слова:** поставки сухофруктов; логистическая система; цепи поставок; экспертная система; нечеткий вывод; правило Мамдани; рациональный маршрут.

### Введение

Многообразие регионов мира, из которых осуществляются поставки в Украину сухофруктов, широкая номенклатура поставляемой продукции, урожайность, колебание курсов валют, сезонность являются причинами возникновения высокого уровня неопределенности в процессах формирования и принятия решений участниками цепи поставок сухофруктов в Украину (ЦПС).

Одним из главных факторов, определяющих эффективность функционирования ЦПС, является рациональная организация перевозок внутри цепи. При этом возникает важная задача определения рационального маршрута доставки грузов в рамках ЦПС, с учетом большого числа разнородных факторов, влияющих на себестоимость перевозок и четко-го выполнения их графика.

Для анализа эффективности логистических маршрутов в настоящее время имеется большое количество различных моделей и методов, выбор конкретных средств зависит от факторов, описывающих динамичность функционирования конкретного варианта реализации цепи [1, 2].

Концепция построения ЦПС предполагает комплексное представление процессов, начиная от производства сырья (свежих фруктов) и охватывает всех поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц. Таким образом, эффективное функционирование ЦПС предполагает интеграцию ключевых бизнес-процессов: управления взаимоотношениями с потребителями; обслуживания потребителей; анализа спроса; управления выполнением

заказов; обеспечения производственных процессов; управления снабжением. При этом основным механизмом повышения эффективности функционирования ЦПС является минимизация производственных издержек в том числе, и за счет снижения стоимости перевозок, при соблюдении принципа 'just-in-time' [3, 5].

**Цель статьи** состоит в описании процесса разработки специализированной экспертной системы, с реализацией нечеткого вывода на знаниях, для поддержки принятия решений по выбору рационального маршрута в рамках создания полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, в режиме 'just-in-time'. Применение такой системы при формировании ЦПС даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям. Указанный эффект будет достигнут за счет снижения риска принятия ошибочных решений логистами при организации перевозок в рамках ЦПС.

### Основная часть

Решение задачи выбора вида транспорта само по себе не обеспечивает эффективность процессов транспортировки сухофруктов в рамках логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину; на качество и скорость перевозки напрямую влияет рациональный выбор маршрута. Сохранность груза и извлечение максимальной прибыли на практике достигают с помощью составления рационального пути следования [1, 2, 6]. При составлении рационального маршрута необходим учет расположения

конечного пункта доставки, габаритов и веса груза, а также его характеристик. С учетом перечисленных параметров подбирается транспортное средство, необходимое для перевозки.

В ходе проектирования ЦПС должен быть составлен маршрут следования, в котором учтены возможные места остановок для питания и ночлега водителя, так и рассматриваются пункты таможенного контроля. Кроме того, необходим учет состояния дорожного покрытия и пересечение границ других государств. Кроме того, принимаются во внимание особенности каждого региона на пути следования груза. Необходимо учитывать также ширину дороги и качество покрытия дорожного полотна и погодные условия, влияющие на состояние дороги. Для обеспечения доставки в режиме just-in-time должны быть учтены ограничения скоростного режима на отдельных участках маршрута.

Принято выделять три основных способа перевозки груза [2]: маятниковый способ (осуществляется между двумя пунктами); кольцевой (загрузка-выгрузка осуществляется на протяжении всего пути следования); развозной (разгрузка осуществляется в нескольких местах).

Развозные и кольцевые способы перевозки являются самыми выгодными, поскольку на всем пути следования автотранспортное средство практически не остается порожним. При этом маршрут окупается, а значит, снижается себестоимость перевозок. Для маятниковых маршрутов необходим специальный расчет, чтобы машина не оставалась на обратном пути порожней. В этом случае можно просчитать варианты возврата автотранспорта другим путем с тем, чтобы догрузить транспорт и окупить расходы на обратную дорогу.

В транспортной логистике любой маршрут может быть отнесен к одной из четырех категорий [2]: городские маршруты – осуществляются в пределах одного города или населенного пункта и пределы городской черты не пересекаются; пригородные маршруты, которые призваны обеспечить связь между городом и пунктами, находящимися в радиусе до 50 км от городской черты; междугородные маршруты, охватывающие всю территорию страны; международные маршруты, предполагающие пересечение границ государства. Городской маршрут планируется с учетом утренних и вечерних пробок в определенных районах города, наличия светофоров на пути, ведущихся дорожно-строительных работ. Пригородные маршруты должны учитывать плотность автомобильного потока на выезде из города. При планировании маршрута международных грузоперевозок необходимо просчитать время, которое может быть потрачено при прохождении таможенного поста, состоянии дорожного полотна и правила пользования автотрассами за рубежом (за границей многие дороги являются платными).

При транспортировке грузов в рамках ЦПС, важным критерием выступает время доставки сырья, сопутствующих материалов и готовой продукции. Стоимость перевозки грузов включается в себестоимость товара, исходя из этого, имеет место

прямая зависимость между продолжительностью маршрута и стоимостью товара

Для выбора рационального маршрута транспортировки целесообразно построить нечеткую модель в среде MATLAB и разработать экспертную систему, функционирование которой будет осуществляться на основе нечеткого вывода. Интерактивный режим обеспечен за счет применения пакета Fuzzy Logic Toolbox, входящего в состав среды MATLAB [4].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода, для определения рационального маршрута международной транспортировки, рассмотрим четыре нечеткие лингвистические переменные: погодные условия; качество покрытия дорожного полотна; количество встречающихся ограничений скоростного режима; время прохождения таможенного поста. При этом выходными переменными будут: время транспортировки; стоимость транспортировки.

В качестве схемы нечеткого вывода применяем метод Мамдани, следовательно, методом активации будет MIN [5]. В качестве метода дефазификации полученного результата используем метод центра тяжести.

Для построения нечеткой модели выбора рационального маршрута транспортировки предположим, что все рассматриваемые входные переменные измеряют в баллах в интервале действительных чисел от 0 до 10, где самая низкая оценка значения каждой из переменных – 0, а самая высокая – 10.

Терм-множество для первой входной лингвистической переменной “Погодные условия” (Pogoda):  $T_1 = \{\text{“удовлетворительная”, “хорошая”, “превосходная”}\}$ . Для второй входной переменной “Качество покрытия” (Pokrutie):  $T_2 = \{\text{“плохое”, “среднее”, “отличное”}\}$ . Для третьей входной лингвистической переменной “Ограничения скорости” (Ogran\_sko\_gosti)  $T_3 = \{\text{“очень много”, “много”, “мало”}\}$ . Для четвертой входной лингвистической переменной “Прохождение таможенных постов” (Tamozhen\_postu):  $T_4 = \{\text{“медленно”, “быстро”, “очень быстро”}\}$ .

В качестве терм-множества первой выходной лингвистической переменной “Время транспортировки” (Vremya):  $T_5 = \{\text{“отличное”, “хорошее”, “среднее”, “плохое”, “очень плохое”}\}$ .

В качестве терм-множества второй выходной лингвистической переменной “Стоимость транспортировки” (Stoimost):  $T_6 = \{\text{“очень низкая”, “низкая”, “средняя”, “высокая”, “очень высокая”}\}$ .

Задача нечеткого моделирования решена на основе правила Мамдани. При этом оставлены без изменения параметры разрабатываемой нечеткой модели, предложенные системой MATLAB по умолчанию: логические операции (min - для нечеткого логического «И», max - для нечеткого логического «ИЛИ»), метод импликации (min), метод агрегирования (max) и метод дефазификации (centroid). Затем, в ходе решения задачи, были определены функции принадлежности термов для каждой из четырех входных и одной выходной переменных рассматриваемой системы нечеткого вывода. Далее,

для разрабатываемой экспертной системы, была сформирована база знаний из 30 правил. На рисунке 1 показан редактор правил, входящих в состав нечеткой базы знаний экспертной системы, вызываемый функцией ruleedit ('marschrut'). Затем проведен анализ построенной системы нечеткого вывода для рассматриваемой задачи выбора рационального маршрута транспортировки партии сухофруктов по

международному маршруту. Путем ввода значения входных переменных для первого варианта маршрута, получено значение входной переменной «погодные условия» - 5 баллов, значение входной переменной «качество покрытия» – 4 балла, значение входной переменной «ограничения скорости» – 6,8 баллов, значение входной переменной «Прохождение таможенных постов» – 7 баллов.

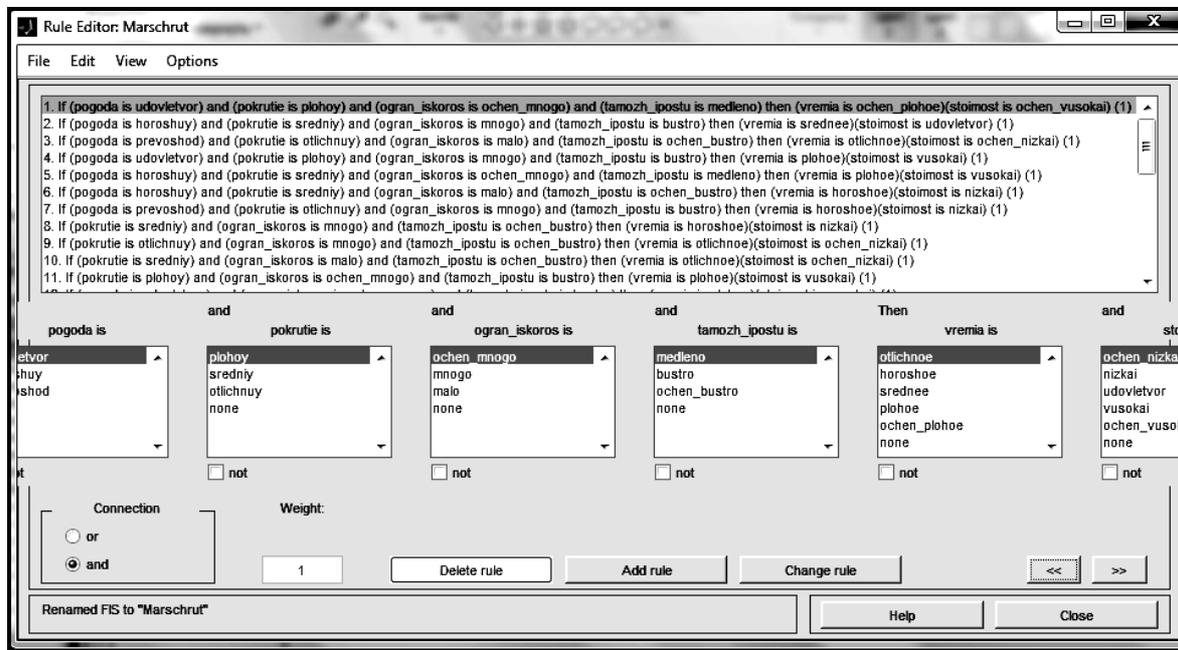


Рис. 1. Редактор правил базы нечетких знаний экспертной системы по выбору рациональных маршрутов перевозок в рамках ЦПС

В результате процедура нечеткого вывода, выполненная с помощью системы MATLAB для разработанной нечеткой модели, выдает значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», равное 41,5 часов и 12,7 тысяч гривен соответственно. Для второго маршрута значение входной переменной «погодные условия» было оценено в 5 баллов, значение входной переменной «качество покрытия» – в 7 баллов, значение входной переменной «ограничения скорости» – в 4,5 балла, значение входной переменной «Прохождение таможенных постов» – в 3,5 балла. В результате процедура нечеткого вывода дала возможность получить значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», равное 49,2 часа и 15,6 тысяч гривен соответственно.

Проанализировав полученные результаты значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», можно сделать вывод, что осуществлять транспортировку грузов в рамках ЦПС выгоднее производить по первому варианту маршрута.

На рис. 2 показан процесс визуализации поверхности нечеткого вывода рассматриваемой модели для входных переменных «Ограничения скорости» и «Прохождение таможенных постов». Данное средство визуализации дает возможность установить зависимость значений выходной переменной от значений

отдельных входных переменных нечеткой модели. Анализ этих зависимостей служит основанием для изменения функций принадлежности входных переменных или нечетких правил в целях повышения адекватности системы нечеткого вывода.

Рассмотренная нечеткая модель обладает достаточной адекватностью. Однако для ее более тонкой настройки необходимо использование дополнительных методик балльной оценки отдельных количественных значений входных и выходных лингвистических переменных.

Системы нечёткого вывода, созданные с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox, допускают интеграцию с инструментами пакета Simulink [4, 7], что позволяет выполнять моделирование систем в рамках последнего. В качестве примера, на рис. 3 показана модель системы управления выбора рационального маршрута транспортировки внутри ЦПС для параметров {5, 4, 6.8, 7.2}, подобная же модель была построена для параметров {5, 7, 4.5, 3.5}. В результате сравнения результатов моделирования было установлено, что значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки» составляют: для первого варианта маршрута 41,54 часа и 12,75 тысяч гривен, для второго варианта маршрута 49,33 часа и 15,62 тысяч гривен. Указанные результаты подтверждают, что для транспортировки сухофруктов целесообразно использовать первый вариант маршрута.

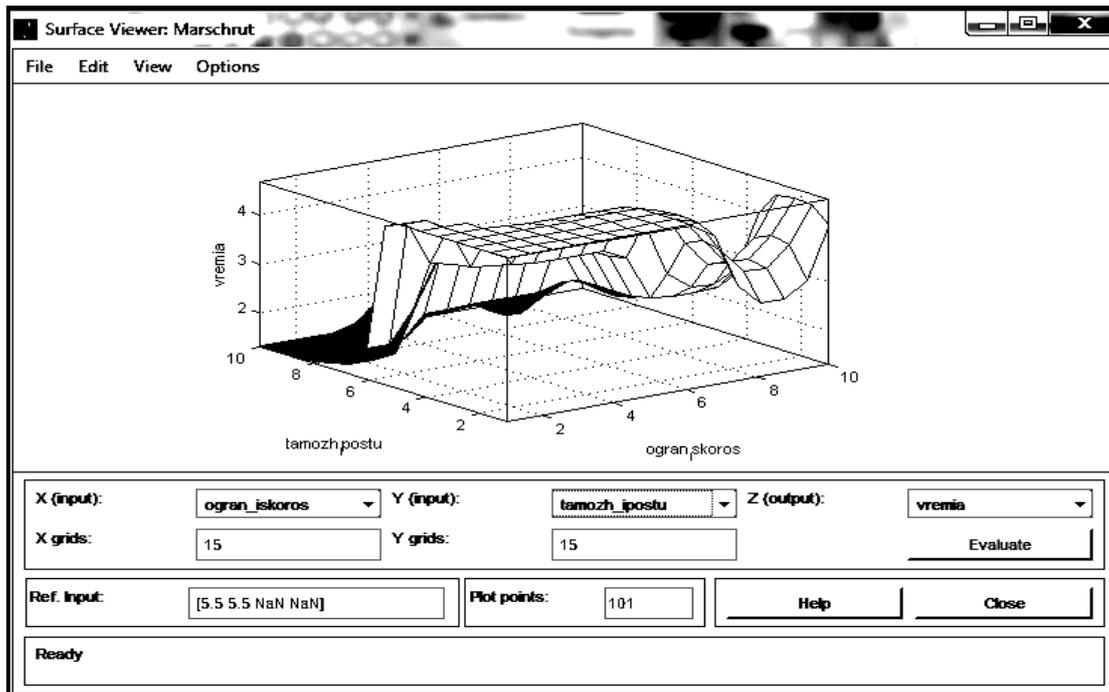


Рис. 2. Визуалізація поверхності нечеткого вивода для вихідної змінної «Время транспортировки»

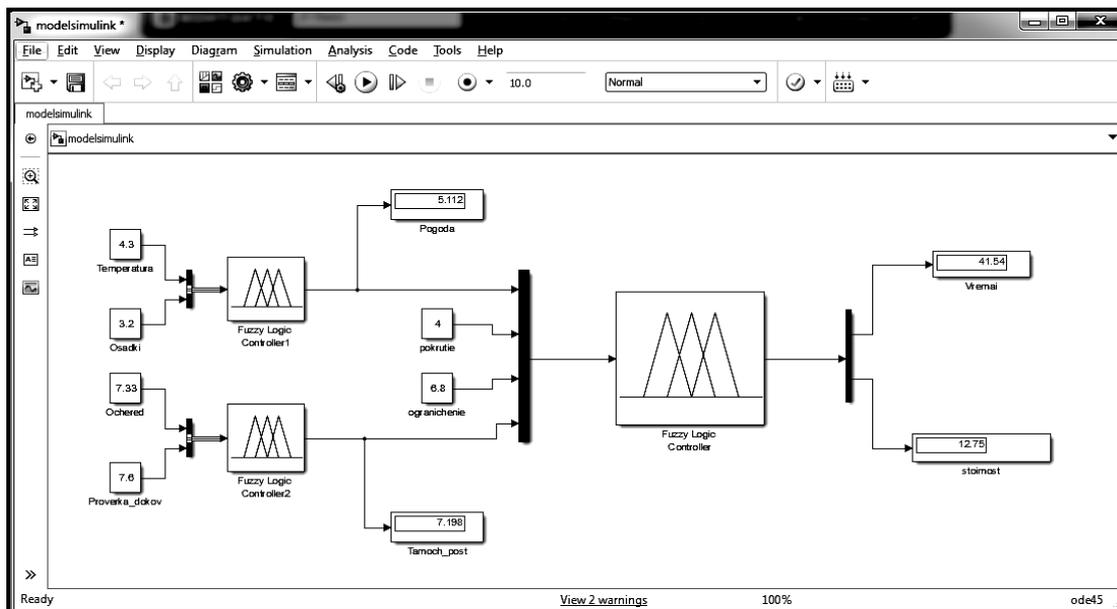


Рис. 3. Модель системи управління для першого маршрута транспортування в рамках ЦПС

## Выводы

Для эффективного функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину необходимо решение задачи выбора рациональных маршрутов транспортировки грузов. Предложен вариант решения указанной задачи путем разработки специальной экспертной системы с нечетким выводом на знаниях, для поддержки принятия решений

логистами при организации перевозок. В качестве средства доставки грузов в ЦПС выбран автомобильный транспорт. Инструментарием для разработки экспертной системы послужил пакет Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав среды MATLAB. Рассмотрен пример обоснования с помощью разработанной экспертной системы, выбора рационального маршрута, по длительности и стоимости транспортировки, из двух возможных вариантов.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сток Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Джеймс Р. Сток, Дуглас М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 831 с.
2. Бауэрсокс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д.Дж. Бауэрсокс, Д.Дж. Клосс. – М., 2008. – 640 с.
3. Рахими Я. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину/ Я. Рахими // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.

4. Дьяконов В.П. MATLAB6/6/1/6/5 + SIMULINK 4/5 / В.П. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 768 с.
5. Crainic T.G. Tools for Tactical Freight Transportation Planning / T.G. Crainic, J.O.R. Roy // *European Journal of Oper. Res.* – 1988. – 33(3). – P. 290-297.
6. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E. Ruchkov // *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – 2016. –P. 1-6, available at : <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

## REFERENCES

1. Stock, J.R. and Lambert, Douglas M. (2005), *Strategic Logistics Management*, INFRA-M, Moscow, 831 p.
2. Bowersox, D.J. and Closs, D.J. (2008), *Logistics: integrated supply chain*, Olimp-Business CJSC, Moscow, 640 p.
3. Rakhimi, Ya. (2017), "Knowledge of an oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistic chain of supply of dried fruits to Ukraine", *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 6(46), pp. 197-201.
4. Dyakonov, V.P. (2002), *MATLAB6 / 6/1/6/5 + SIMULINK 4/5*, Solon-Press, Moscow, 768 p.
5. Crainic, T.G. and Roy, J.O.R. (1988), "Tools for Tactical Freight Transportation Planning", *European Journal of Oper. Res.*, 33 (3), pp. 290-297.
6. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E.(2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at : <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
7. Pegat, A. (2013), *Fuzzy modeling and control*, BINOM. Laboratory of Knowledge, Moscow, 798 p.

Received (Надійшла) 29.03.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

**Розробка експертної системи для вибору раціонального маршруту транспортування сухофруктів в Україні**

Я. Рахімі, О. І. Феоктистова

**Мета статті** полягає в описі процесу розробки спеціалізованої експертної системи з реалізацією нечіткого виведення на знаннях для підтримки прийняття рішень по вибору оптимального маршруту в рамках створення повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну, в режимі 'just-in-time'. Застосування такої системи при формуванні ЦПС дасть можливість підвищити ефективність бізнес процесів в ланцюзі за рахунок зниження фінансових і тимчасових витрат. **Результати.** Описано процес розробки експертної системи для підтримки прийняття рішень учасниками повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЛПС) в Україну. Показано, що одним з найбільш важливих факторів, що визначають ефективність функціонування ЛПС, є вибір раціональних маршрутів доставки сировини, супутніх матеріалів і готової продукції в рамках даного ланцюга. Проаналізовано показники, які необхідно враховувати при підборі транспортного засобу - розташування кінцевих пунктів доставки, габаритів і ваги вантажу, інших його характеристик, а також показники, що визначають раціональність маршруту - можливі зупинки для харчування та ночівлі водіїв, наявність пунктів митного контролю та дорожні умови (стан покриття, ширина дорожнього полотна, погодні умови, що впливають на стан дороги, обмеження швидкісного режиму на окремих ділянках маршруту). В результаті аналізу встановлено нечіткий характер зазначеної інформації, запропоновано розробити спеціалізовану експертну систему, що реалізує нечіткий виведення на знаннях. Для розробки експертної системи використане середовище MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). В технічному аспекті, для формування рішень в експертній системі застосовано правило Мамдані, а для дефазифікації результату - метод центру тяжіння. Наведено приклад обгрунтованого вибору найбільш раціонального маршруту з двох можливих варіантів.

**Ключові слова:** поставки сухофруктів; логістична система; ланцюги поставок; експертна система; нечітке виведення; правило Мамдані; раціональний маршрут.

**Development of expert systems for election of a rational transportation route of dried fruits to Ukraine**

Ya. Rahimi, O. Feoktystova

**The purpose of the article** is to describe the process of developing a specialized expert system, implementing a fuzzy conclusion on knowledge, to support decision making on the selection of a rational route in the creation of a complete logistics chain of supplies of dried fruits to Ukraine, in the 'just-in-time' mode. The use of such a system in the formation of the CPC will make it possible to improve the efficiency of business processes in the chain by reducing the financial and time costs. **Results.** The process of developing an expert system to support decision-making by participants in a complete logistics chain of deliveries of dried fruits (DDF) to Ukraine is described. It is shown that one of the most important factors determining the efficiency of the DDF, is a rational choice of delivery routes of raw materials, related materials and finished products in the framework of this chain. Analyzed parameters that must be considered when selecting a vehicle - the location of the final destination, size and weight, its other characteristics, as well as indicators that determine the route rationality - possible stops for food and accommodation of drivers, the presence of customs checkpoints and road conditions (state cover, width of the roadway, weather conditions affecting the state of the road, speed limits on certain sections of the route). As a result of the analysis, the fuzzy nature of this information is established, it is proposed to develop a specialized expert system that implements an unclear conclusion on knowledge. To develop an expert system used in MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox package). In the technical aspect, to form solutions in the expert system, rule applied Mamdani, and for defuzzification result - the center of gravity method. An example of an informed choice of the most rational route from two possible variants is given.

**Keywords:** delivery of dried fruits; logistics system; supply chain; expert system; fuzzy inference rule Mamdani; a rational route.