

С.Т. Дусакаева¹, А.А. Викулова¹

¹ *Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация*

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПРОМЫВАНИЯ РАСФАСОВАННОГО САЛАТА ДЛЯ ОТДЕЛА СВЕЖИХ ОВОЩЕЙ В СУПЕРМАРКЕТЕ

Аннотация. В статье описаны основные этапы разработки построенной на модели нечеткой логики рекомендательной системы для оценки качества промывания расфасованного салата. Необходимость разработки рекомендательных систем подобного рода обусловлена актуальной проблемой повышения качества предоставляемых услуг, а также согласуется с социально-значимыми вопросами современного общества – пропагандой здорового образа жизни и внедрением правильного питания особенно в условиях неблагоприятной экологической обстановки. Поскольку входные и выходные параметры математической модели имеют нечеткий характер, то основным методом научного исследования выбран алгоритм нечеткой логики Мамдани, реализованный в среде программирования Fuzzy Logic Toolbox. Примененный в данной статье подход для оценки качества промывания расфасованного салата позволяет повысить уровень обслуживания в супермаркетах, что способствует формированию положительного имиджа торговой сети и содействует продвижению основных принципов здорового образа жизни, ориентируя покупателей на приобретение продуктов правильного питания.

Ключевые слова: процесс промывания салата, нечеткий вывод, алгоритм Мамдани, Fuzzy Logic Toolbox, среда MATLAB, терм–множество лингвистической переменной.

S.T. Dusakaeva¹, A.A. Vikulova¹

¹ *Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation*

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF RECOMMENDATIONS FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE PRE-PACKAGED SALAD WASHING PROCESS FOR THE FRESH VEGETABLES DEPARTMENT IN THE SUPERMARKET

Abstract. The article describes the main stages of the development of a recommendation system based on a fuzzy logic model for assessing the quality of rinsing packaged lettuce. The need to develop recommendation systems of this kind is due to the urgent problem of improving the quality of services provided, and is also consistent with socially significant issues of modern society - the promotion of a healthy lifestyle and the introduction of proper nutrition, especially in an unfavorable environmental situation. Since the input and output parameters of the mathematical model are fuzzy, the Mamdani fuzzy logic algorithm implemented in the Fuzzy Logic Toolbox programming environment is chosen as the main method of scientific research. The approach used in this article to assess the quality of washing packaged lettuce makes it possible to increase the level of service in supermarkets, which contributes to the formation of a positive image of the retail chain and promotes the basic principles of a healthy lifestyle, orienting customers to purchase proper nutrition products.

Keywords: the process of rinsing the salad, fuzzy inference, Mamdani algorithm, Fuzzy Logic Toolbox, MATLAB environment, linguistic variable term set.

Введение

С каждым годом экологическая обстановка в большинстве городов становится все менее пригодной для соблюдения здорового образа жизни, так по сообщениям ТАСС Оренбургская область входит в пятерку регионов с рекордным числом случаев критически высокого уровня загрязнения воздуха в течение года [1]. Большинство людей не имеют возможности перебраться в экологически более благоприятные места проживания, поэтому в сложившейся ситуации значительно возрастает роль правильного питания. В организме человека под влиянием вредных веществ постоянно ощущается нехватка полезных элементов, поэтому желательно, благодаря правильному питанию, постоянно проводить комплекс омоложения и восстановления всех потерянных клеток и полезных витаминов с

минералами. Кроме того правильное питание является одним из наиболее доступных способов обезопасить свой организм от неблагоприятных факторов внешней среды. Поскольку овощи и фрукты являются основными источниками витаминов и других важных микроэлементов, то в условиях неблагоприятной экологической обстановки следует стимулировать покупателей к приобретению указанных продуктов правильного питания.

Торговые сети, занимающиеся реализацией свежих овощей и фруктов, заинтересованы в повышении прибыли и поэтому стремятся повысить качество предоставляемой продукции и оказываемых услуг. При этом следует учесть все требования санитарно-эпидемиологические требования к обработке овощей и фруктов, утвержденные санпином [2-3].

Модели и методы

Рассмотрим процесс промывания салата при производстве расфасованного салата для отделов свежих овощей в супермаркетах торговой сети. Салат необходимо отрезать, вымыть и упаковать. Основным назначением процесса промывания является удаление с салата земли, а также различных микроорганизмов, которые могут размножаться в течение срока хранения продукта. Процесс промывания является непрерывным. Согласно источнику [4] для промывки овощей используется устройство, внутри тоннеля которого, оснащенного соплами, распыляющими воду и хлорин, перемещается барабан с листьями салата. Вода смывает землю, а хлорин уничтожает микроорганизмы. Требуется задать такой режим работы устройства для промывания салата, чтобы добиться наиболее приемлемого качества готовой продукции.

Цель исследования – разработать рекомендательную систему для оценки качества промывания салата.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- проанализировать проблемную ситуацию;
- построить математическую модель;
- апробировать модель;
- критически оценить результаты работы построенной модели в соответствии с требованиями санпина к содержанию хлорина и количества микроорганизмов в промытом салате.

Стратегия торговой сети, занимающейся реализацией свежих овощей и фруктов, в отношении покупателей представлена следующими принципами, описанными ниже в порядке их важности [5]:

Уважение к покупателям:

- 1) залог качества промытого салата:
 - чистый салат (внешний вид);
 - без вкуса и запаха хлора;
- 2) залог безопасности промытого салата:
 - приемлемое количество микроорганизмов (КОЕ).

Повышение дохода от реализации промытого салата:

- увеличение объемов продаж салата (кг);
- экономия воды (л);
- экономия хлорина (мл).

Помимо грамотного менеджмента торговой сети при разработке рекомендательной системы для оценки качества промывания салата необходимо учесть технические возможности и ограничения работы устройства, предназначенного для промывания овощей и фруктов.

Технологические признаки устройства для промывки салата:

- скорость движения ленты с салатом (м/с);
- объем распыляемого хлорина (мл);
- объем распыляемой воды (л).

Ограничения работы устройства для промывания салата:

- механическая скорость ленты (м/с);
- поток воды, не вызывающий повреждения листьев салата (м/с).

В связи с высоким уровнем развития отрасли компьютерных технологий данная задача может быть решена с использованием современного информационного инструментария. Наличие в описании технической системы неопределенности позволяет в данной работе использовать аппарат теории нечетких множеств, в частности алгоритм нечеткой логики Мамдани, а реализацию осуществить в среде программирования Fuzzy Logic Toolbox.

Алгоритм Мамдани включает в себя следующие этапы, представленные на рис. 1.



Рис. 1. Схема этапов нечеткого вывода Мамдани.

В качестве схемы нечеткого вывода используем алгоритм нечеткой логики Мамдани [6–8], реализуемый формулой (1).

$$\mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}, \quad (1)$$

где $\mu'(y)$ – «активизированная» функция принадлежности; $\mu(y)$ – функция принадлежности терма; c_i – степень истинности i -го подзаклучения.

В источниках [6, 10] формулу (1) принято называть min-активацией, поскольку она позволяет вычислять степень истинности для каждого подзаклучения. Руководствуясь рекомендациями для проектирования нечетких систем средствами MATLAB, приведенными в источниках [9-12], опишем основные этапы разработки рекомендательной системы для оценки качества промывания салата.

1 этап разработки нечеткой модели: Лингвистические переменные и термы

В качестве входных переменных при разработке рекомендательной системы для оценки качества промывания салата выберем следующие:

- количество микроорганизмов (КОЕ/г);
- остаточная концентрация хлорина (мг/л);
- прозрачность воды (см);
- скорость ленты конвейера (м/с);
- поток воды (м/с).

Выбор первой и второй входной входных переменных обусловлен санитарно-эпидемиологическими требованиями к обработке овощей и фруктов, утвержденных санпином [2-3], выбор остальных входных переменных связан с настройкой технических характеристик устройства для промывания овощей [4].

Количество микроорганизмов принято измерять в колониеобразующих единицах на грамм (КОЕ/г), остаточную концентрацию хлорина – в миллиграммах на литр (мг/л), прозрачность воды – в сантиметрах (см), скорость ленты конвейера и поток воды – в метрах в секунду (м/с).

Далее для каждой входной лингвистической переменной определим терм-множества.

- Количество микроорганизмов

Терм множество T1 = {Низкое, Приемлемое, Высокое}

- Остаточная концентрация хлорина

Терм множество T2 = {Низкая, Приемлемая, Высокая}

- Прозрачность воды

Терм множество T3 = {Мутная, Средняя, Прозрачная}

- Скорость ленты конвейера

Терм множество T4 = {Низкая, Средняя, Высокая}

- Поток воды

Терм множество T5 = {Низкий, Средний, Высокий}

С учетом поставленной цели исследования, заключающейся в разработке рекомендательной системы для оценки качества промывания салата, в качестве выходных переменных выбраны параметры:

- изменение потока воды (м/с);
- изменение потока хлорина (мг/л);
- изменение скорости ленты конвейера (м/с).

Ниже приведены терм-множества выходных лингвистических переменных модели.

- Изменение потока воды

Терм множество Т6 = {Отрицательное, Неизменное, Положительное}.

- Изменение потока хлорина

Терм множество Т7 = {Отрицательное, Неизменное, Положительное}.

- Изменение скорости ленты

Терм множество Т8 = {Отрицательное, Неизменное, Положительное}.

Выбор трех значений термов для каждой лингвистической переменной связан с тем фактом, что человеческий мозг лучше всего воспринимает и обрабатывает информацию, содержащую 3-4 степени сравнения.

Графическое представление функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных в среде программирования Fuzzy Logic Toolbox представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. Для описания термов переменных использовался треугольный тип функции принадлежности («trimf»).

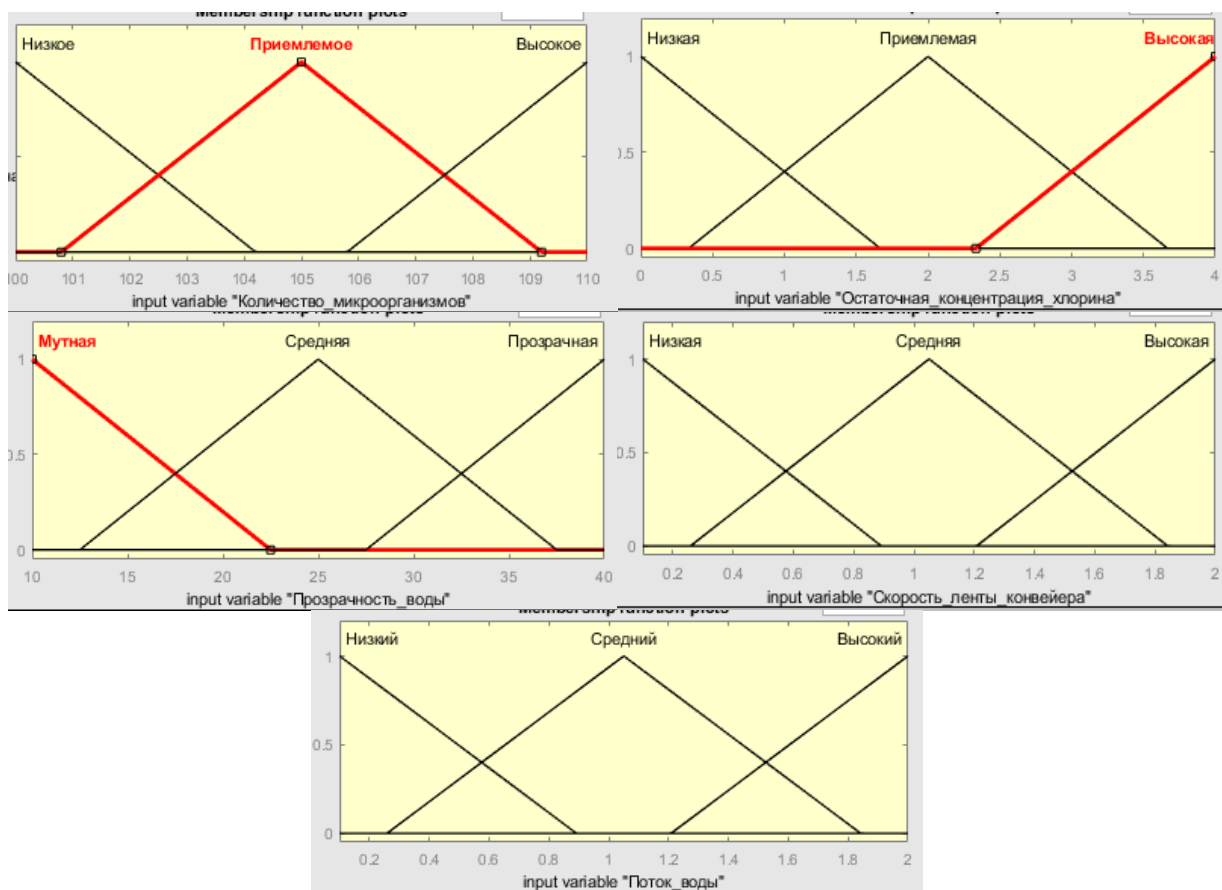


Рис. 2. Графики функций принадлежности соответствующие термам входных лингвистических переменных.

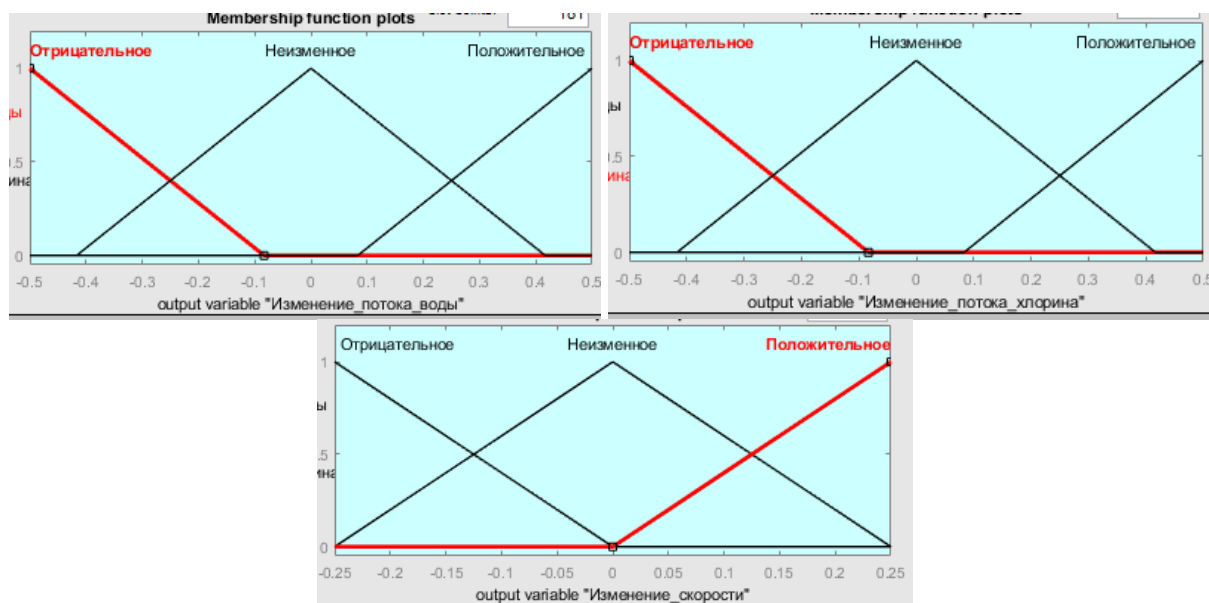


Рис. 3. Графики функций принадлежности, соответствующие термам выходных лингвистических переменных.

2 этап разработки нечеткой модели: Формирование базы правил системы нечеткого вывода

Для создания модели разработана база нечетких правил, связывающих входные и выходные переменные, содержащая 31 предложения. При формировании базы правил учитывалось рекомендации экспертов предметной области и информация из источников [2-4].

В таблице 1 приведены некоторые из использованных в нечеткой модели правил.

Таблица 1. Правила нечеткого вывода

Номер правила	Количество микроорганизмов	Остаточная концентрация хлорина	Прозрачность воды	Скорость ленты конвейера	Поток воды	Изменение потока воды	Изменение потока хлорина	Изменение скорости ленты
1	Низкое	Низкая	Мутная	Низкая	Низкий	Положительное	Положительное	Положительное
3	Приемлемое	Высокая	Средняя	Высокая	Средний	Положительное	Отрицательное	Отрицательное
7	Высокое	Низкая	Прозрачная	Низкая	Высокий	Отрицательное	Положительное	Положительное
...
31	Низкое	–	–	–	–	–	Отрицательное	Положительное

Например, при входных параметрах:

- Количество_микроорганизмов=Высокое AND
- Остаточная_концентрация_хлорина=Низкая AND
- Прозрачность_воды=Прозрачная AND
- Скорость_ленты_конвейера=Низкая AND
- Поток_воды=Высокий,

Выходные параметры имеют следующий вид:

- Изменение_потока_воды=Отрицательное AND
- Изменение_потока_хлорина=Положительное AND
- Изменение_скорости_ленты=Положительное

То есть при таких значениях входных параметров для получения наиболее высокого качества промывания салата необходимо уменьшить поток воды и увеличить поток хлорина и скорость ленты.

3 этап разработки нечеткой модели: Результаты работы программы

Графический интерфейс программы просмотра правил представлен на рисунке 4. В центральной части окна расположены прямоугольники, соответствующие отдельным входным переменным (функции принадлежности желтого цвета) и выходным переменным (функции принадлежности синего цвета) правил нечеткого вывода [8]. Каждому правилу соответствует отдельная строка из этих прямоугольников. Номера правил указаны в левой части графического интерфейса.

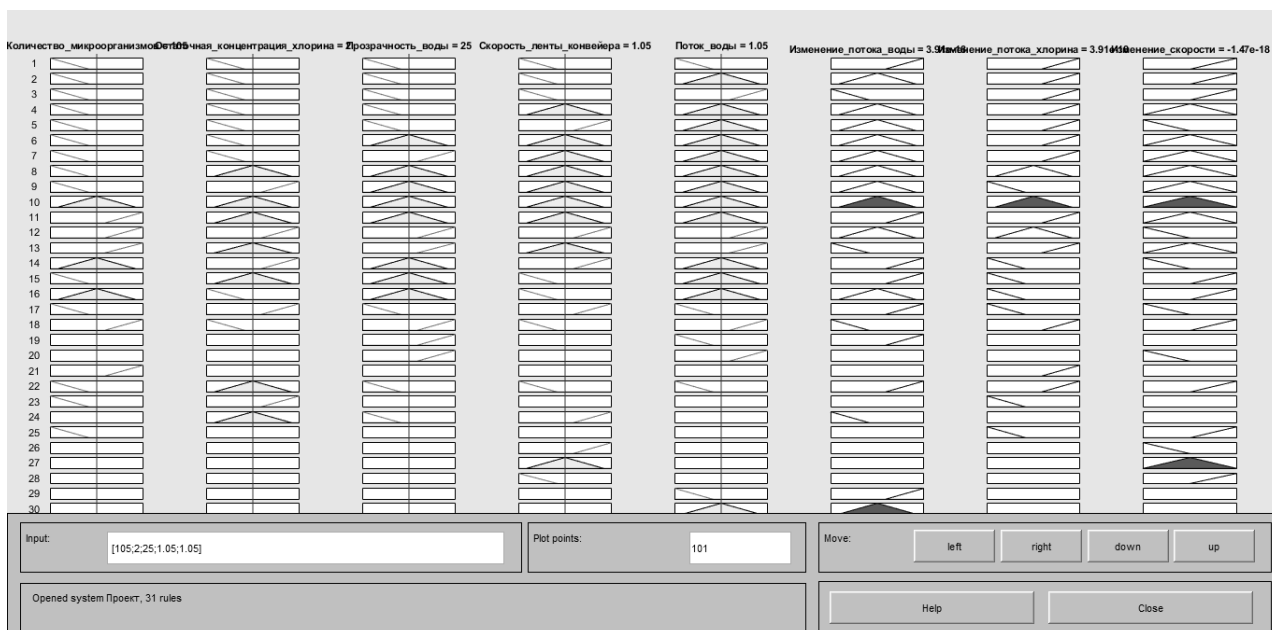


Рис. 4. Графическое представление правил задания режима работы.

На рисунке 5 показана зависимость изменения потока воды (м/с) от количества микроорганизмов (КОЕ /г) и остаточной концентрации хлорина (мг/л).

При этом следует учесть, что согласно требованиям санпина [3] предельное количество микроорганизмов составляет не более 5×10^5 (КОЕ/г), а остаточная концентрация хлорина не должна превосходить 0,5 мг/л.

Таким образом, требования санпина выступают дисциплинирующими условиями в разработанной рекомендательной системе для оценки качества промывания салата, что выражается в существенном сужении области допустимых значений на поверхности нечеткого вывода.

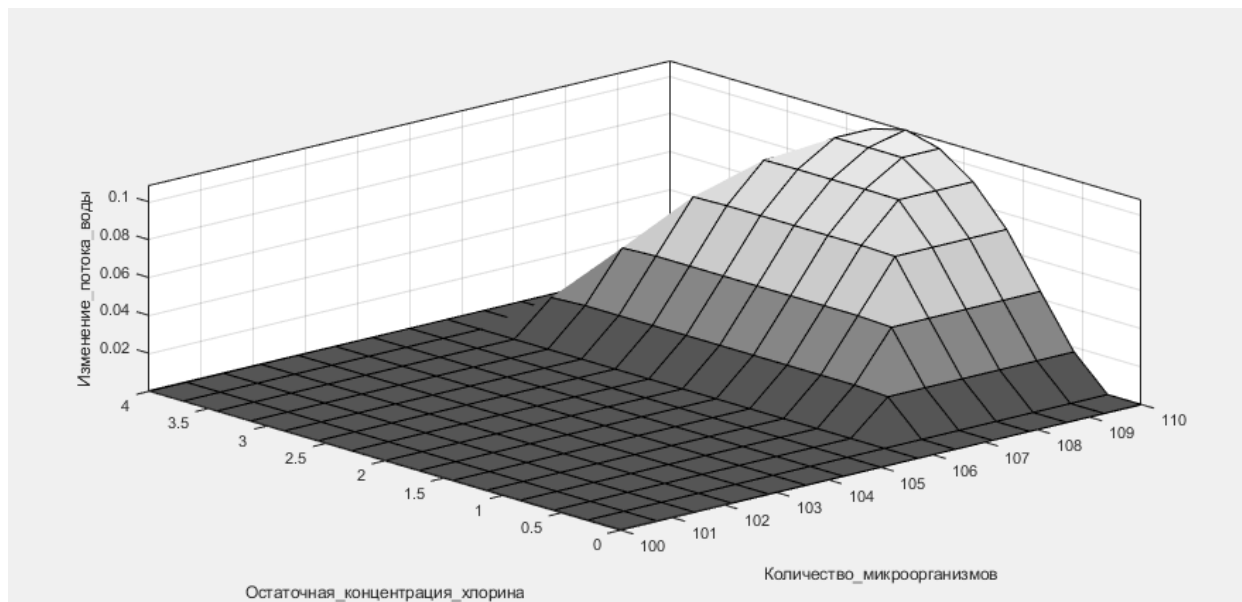


Рис. 5. Поверхность нечеткого вывода

Заключение

Выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью позволяет определить оптимальные значения входных и выходных данных.

В частности, при параметрах, представленных ниже, выходные измерения в норме и получена максимальная производительность: экономия воды.

- Скорость ленты конвейера = Средняя AND
- Остаточная концентрация хлорина = Приемлемая AND
- Прозрачность воды = Средняя.

Разработанная рекомендательная система оценки качества процесса промывания салата, построенная на аппарате нечеткой логики, позволяет определить наиболее важные характеристики – скорость ленты конвейера, остаточная концентрация хлорина и прозрачность воды для получения максимальной производительности, а также учитывать требования санпина к предельному количеству микроорганизмов и остаточной концентрации хлорина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекордное число случаев высокого уровня загрязнения воздуха выявили в России [сайт]. URL: <https://tass.ru/obshchestvo/13632789> (дата обращения: 30.04.2023).
2. Санитарно-эпидемиологические требования к обработке овощей и фруктов [сайт]. URL: https://bagcrb.d61.ru/sanitarno_epidemiologicheskie_trebovaniya_k_obrabotke_ovoschey_i_frukto v.html# (дата обращения: 30.04.2023).
3. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) [сайт]. URL: <http://www.tsouz.ru/db/techregulation/sanmeri/documents/pishevayacennost.pdf> (дата обращения: 30.04.2023).
4. Обработка овощей на производстве: технология, виды промышленного оборудования [сайт]. URL: <https://eurasia-group.ru/blog/articles/obrabotka-ovoshchey-na-proizvodstve-tekhnologiya-vidy-promyshlennogo-oborudovaniya/> (дата обращения: 30.04.2023).
5. Колобова И.Н. Психология управления: учебное пособие / Колобова И.Н. – Москва : Российская таможенная академия, 2014. – 304 с. – ISBN 978-5-9590-0798-0.
6. Болодурина, И.П. Введение в теорию нечетких множеств и систем [Электронный ресурс]: учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего

образования по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика / И.П. Болодурина, С.Т. Дусакаева; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург: ОГУ. – 2021. – ISBN 978-5-7410-2532-1. – 172 с – Загл. с тит. экрана.

7. Болодурина, И. П. Методы нечеткой логики при исследовании востребованности учебной литературы / И. П. Болодурина, П. А. Болдырев, С. Т. Дусакаева // Научное обозрение, 2015. – № 14. – С. 224–231.

8. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 352 с.

9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

10. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие, 2-е изд., испр. - М.: Ин-тернет-Ун-т Информ. Технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2012, - 315с.

11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Штовба. – М: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

12. Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab : учеб. пособие / В.С. Тарасян. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013. – 112 с. – ISBN 978-5-94614-248-9.

REFERENCES

1. A record number of cases of high levels of air pollution have been identified in Russia [website]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/13632789> (accessed: 30.04.2023).

2. Sanitary and epidemiological requirements for processing vegetables and fruits [website]. URL

https://bagcrb.d61.ru/sanitarno_epidemiologicheskie_trebovaniya_k_obrabotke_ovoschey_i_frukto_v.html# (accessed: 30.04.2023).

3. Uniform sanitary-epidemiological and hygienic requirements for goods subject to sanitary-epidemiological supervision (control) [website]. URL: <http://www.tsouz.ru/db/techregulation/sanmeri/documents/pishevayacennost.pdf> (accessed: 30.04.2023).

4. Vegetable processing in production: technology, types of industrial equipment [website]. URL: <https://eurasia-group.ru/blog/articles/obrabotka-ovoshchey-na-proizvodstve-tekhnologiya-vidy-promyshlennogo-oborudovaniya/> (accessed: 30.04.2023).

5. Kolobova I.N. Psychology of management: textbook / Kolobova I.N. – Moscow: Russian Customs Academy, 2014. – 304 p. – ISBN 978-5-9590-0798-0.

6. Bolodurina I. P. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i sistem [Elektronnyi resurs] : учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика [Introduction to the theory of fuzzy sets and systems [Electronic resource]: a textbook for students in the educational program of higher education in the direction of training 01.03.02 Applied mathematics and informatics] / I. P. Bolodurina, S. T. Dusakaeva; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т" [Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation, Feder. state budget. educate. institution of higher education "Orenburg. state. un-t"]. – Оренбург: OSU. – 2021. – ISBN 978-5-7410-2532-1. – 172 p. – Head. with tit. screen.

7. Bolodurina, I. P. *Metody nechetkoj logiki pri issledovanii vostrebovannosti uchebnoj literatury* [Methods of fuzzy logic in the study of the demand for educational literature] / I. P. Bolodurina, P. A. Boldyrev, S. T. Dusakaeva // Scientific Review, 2015. – No. 14. – P. 224–231.

8. Zak Yu.A. Decision making in conditions of fuzzy and fuzzy data: Fuzzy-technologies. – М.: Book house "LIBROKOM", 2013. – 352 p.

9. Leonenkov A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2003. – 736 p.

10. Yakhyaeva G.E. Fuzzy sets and neural networks: textbook, 2nd ed., rev. – М.: In-ternet-Un-t Inform. Technology: Binom. Knowledge Laboratory, 2012, – 315p.

11. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems using MATLAB] / S. Shtovba. – M: Hotline-Telecom, 2007. – 288 p.
12. Package Fuzzy Logic Toolbox for Matlab: textbook. allowance / V.S. Tarasyan. – Ekaterinburg: Publishing house of UrGUPS, 2013. – 112 p. – ISBN 978-5-94614-248-9.

Информация об авторах

Слушаш Тугайбаевна Дусакаева – к. т. н., доцент кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, e-mail: slushashdusakaeva@rambler.ru.

Анастасия Александровна Викулова – кафедра прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, e-mail: nastja.vik@mail.ru.

Authors

Slushash Tugajbaevna Dusakaeva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, e-mail: slushashdusakaeva@rambler.ru.

Anastasia Alexandrovna Vikulova – Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, e-mail: nastja.vik@mail.ru.

Для цитирования

Дусакаева С.Т., Викулова А.А. Разработка рекомендательной системы для оценки качества процесса промывания расфасованного салата для отдела свежих овощей в супермаркете // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2023. – №2(18). – С.33-41 – DOI: 10.26731/2658-3704.2023.2(18).33-41 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/218-2023>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 17.06.2023)

For citations

Dusakaeva S.T., Vikulova A.A. Development of a system of recommendations for assessing the quality of the pre-packaged salad washing process for the fresh vegetables department in the supermarket // *Informacionnyye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2023. No. 2(18). P. 33-41. DOI: 10.26731/2658-3704.2023.2(18).33-41 [Accessed 17/06/23]