

Создание комбинированной модели сортировки листового шпона

М.С. Липатов^{1a}, О.Г. Матвеева^{1b}, Б.М. Шифрин^{2c}, И.В. Елисейев^{2d}, В.А. Соколова^{1e},
В.А. Марков^{1f}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, пер. Институтский, 5, Санкт-Петербург, Россия

^a 110lms@mail.ru, ^b uchet74@yandex.ru, ^c shifrinb@mail.ru, ^d yeliseyef@yandex.ru, ^e sokolova_vika@inbox.ru, ^f mactor85@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-5377-3320>, ^b <https://orcid.org/0009-0002-7667-9921>,

^c <https://orcid.org/0000-0001-5377-741X>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-1179-0146>,

^e <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-4986-4155>

Статья поступила 05.06.2025, принята 08.09.2025

В последние годы в производственной автоматизации происходят значительные изменения. Ранее промышленность использовала преимущественно локальные системы автоматического контроля и управления для отдельных машин и агрегатов. Исследования методов выявления пороков древесины и дефектов обработки показали следующее: наличие точной информации о состоянии поверхности лущёного шпона создаёт условия для внедрения автоматизированной системы сортировки на основе анализа внешнего вида. Методика АКО представляет собой метод неразрушающего оптического контроля, используемый в деревообрабатывающей промышленности. Анализ изображений, полученных с помощью сканирующего устройства, выполняется с применением цифровых фильтров и специализированного программного обеспечения. На основании результатов анализа шпон классифицируется по сортам (E, I, II, III или IV) в зависимости от количества выявленных сортообразующих факторов, включая дефекты и пороки. Эти данные автоматически передаются в SCADA-систему для дальнейшей обработки и учёта. Применение данной модели позволяет значительно повысить точность, надёжность и информативность получаемых данных. В статье предлагается комплексная модель автоматизированной сортировки лущёного шпона, состоящая из автоматического и вручную контура оценки качества. В случае доверия к результатам автоматической оценки сразу выдается команда на объект управления, в ином случае запускается ручной контур оценки, основной частью которого является эксперт, выдающий субъективные оценки порокам и дефектам в соответствии со своей системой предпочтений. Модель обладает рядом преимуществ, включая повышение точности контроля качества, увеличение объёма полезной информации, уменьшение временных затрат на измерения, а также возможность последующей статистической обработки данных благодаря применению современных вычислительных технологий.

Ключевые слова: фанера; лущёный шпон; SCADA-система; нечёткая логика; оценка качества.

Creating a combined sheet veneer sorting model

M.S. Lipatov^{1a}, O.G. Matveeva^{1b}, B.M. Shifrin^{2c}, I.V. Eliseev^{2d}, V.A. Sokolova^{1e}, V.A. Markov^{1f}

¹ Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4, Ivan Chernykh St., St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, Russia

^a 110lms@mail.ru, ^b uchet74@yandex.ru, ^c shifrinb@mail.ru, ^d yeliseyef@yandex.ru, ^e sokolova_vika@inbox.ru, ^f mactor85@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-5377-3320>, ^b <https://orcid.org/0009-0002-7667-9921>,

^c <https://orcid.org/0000-0001-5377-741X>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-1179-0146>,

^e <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-4986-4155>

Received 05.06.2025, accepted 08.09.2025

Significant changes have been taking place in production automation in recent years. Previously, the industry used mainly local automatic control and control systems for individual machines and aggregates. Studies of methods for detecting wood defects and processing defects have shown the following: the availability of accurate information about the condition of the peeled veneer surface creates the conditions for the introduction of an automated sorting system based on appearance analysis. The AKO technique is a method of non-destructive optical inspection used in the woodworking industry. The analysis of images obtained using a scanning device is performed using digital filters and specialized software. Based on the analysis results, veneer is classified into grades (E, I, II, III or IV) depending on the number of identified variety-forming factors, including defects and defects. This data is automatically transferred to the SCADA system for further processing and accounting. The use of this model can significantly improve the accuracy, reliability and information content of the data obtained. The article proposes a comprehensive model of automated peeling veneer sorting, consisting of an automatic and manual quality assessment contour. If the results of the automatic assessment are trusted, a command is immediately issued to the control object, otherwise a manual assessment loop is launched, the main part of which is an expert who gives subjective

assessments to defects and defects in accordance with his preference system. The model has a number of advantages, including improving the accuracy of quality control, increasing the amount of useful information, reducing the time required for measurements, as well as the possibility of subsequent statistical data processing through the use of modern computing technologies.

Keywords: plywood; peeled veneer; SCADA system; fuzzy logic; quality assessment.

Введение. Фанера представляет собой одну из форм переработанной древесины, которая широко используется в качестве строительного материала. Этот материал нашёл широкое применение в строительстве жилых и общественных зданий, сельскохозяйственных объектов, лёгких мостов, а также в производстве мебели, вагонов, контейнеров, судов, понтонов, элементов самолётов, планеров и вертолётов. Кроме того, фанера используется для изготовления упаковки, многоразовой опалубки и других изделий, востребованных в различных сферах.

В последние годы в производственной автоматизации происходят значительные изменения. Ранее промышленность использовала преимущественно локальные системы автоматического контроля и управления для отдельных машин и агрегатов. Главной целью таких систем являлось уменьшение количества обслуживающего персонала и поддержание стабильности технологических процессов. В настоящее время всё большее распространение получают адаптивные системы управления на базе микропроцессоров. Они обрабатывают данные в режиме реального времени, чтобы корректировать свои параметры или структуру для более эффективного управления процессами.

Производство фанеры характеризуется сложной зависимостью технологических параметров от множества факторов. В ряде случаев изменения в этих параметрах связаны не только с текущими, но и с предыдущими значениями входных данных. Недостаточная полнота и объективность информации, вызванные отсутствием или неисправностью датчиков, запоздалым поступлением данных или высоким уровнем помех, усложняют оценку состояния технологического процесса и управление им.

В настоящее время недостаточно исследований, посвящённых разработке и совершенствованию систем управления качеством, адаптированных для специфики фанерного производства [1].

Проблема создания комбинированной модели контроля качества поверхности фанерного лущёного шпона в процессе производства является пока не решённой до конца [2].

Поэтому цель статьи – разработка комплексной модели автоматизированной сортировки, позволяющей контролировать качество поверхности – представляется актуальной.

Объекты и методы исследования. Анализ нормативной документации позволил определить ключевые характеристики, влияющие на качество шпона. Исследования методов выявления пороков древесины и дефектов обработки показали следующее: наличие точной информации о состоянии поверхности лущёного шпона создаёт условия для внедрения автоматизированной системы сортировки на основе анализа внешнего вида. Перспективным направлением в изучении качественных параметров лущёного шпона является применение фото- и видеотехники с последующей компьютерной обработкой данных. Такой подход обеспечивает оценку оптических характеристик шпона

и обладает рядом преимуществ, включая высокую точность измерений, широкую доступность оборудования, возможность детального анализа цветовых параметров поверхности, а также архивацию и воспроизводимость результатов исследований [3–5]. Для обеспечения возможности максимально правдоподобного оценивания качества шпона необходимо разработать комплексную модель автоматизированной сортировки, позволяющую контролировать качество поверхности как в автоматическом режиме (путём программного анализа изображения, полученного при помощи сканирования), так и в ручном режиме (для ситуации, когда сортировщик, контролирующий процесс сортировки, не доверяет автоматической оценке).

Таким образом, алгоритм функционирования предлагаемой комбинированной модели оценки качества листового шпона можно представить в следующем виде (рис. 1).

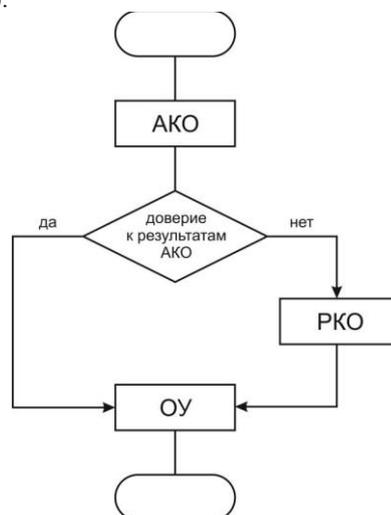


Рис. 1. Алгоритм оценки качества листового шпона

Главными элементами модели являются автоматический и ручной контуры оценки качества (АКО и РКО), работающие под управлением SCADA-системы. В случае доверия к результатам автоматической оценки сразу выдается команда на объект управления (ОУ), отвечающий за распределение листов шпона по разным накопителям в соответствии с их сортностью. В случае сомнений в правильности автоматической оценки запускается ручной контур оценки, основной частью которого является эксперт, выдающий субъективные оценки порокам и дефектам в соответствии со своей системой предпочтений (рис. 2).

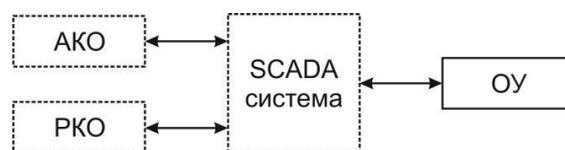


Рис. 2. Комбинированная модель оценки качества листового шпона

Методика АКО представляет собой метод неразрушающего оптического контроля, используемый в деревообрабатывающей промышленности. Её применение позволяет значительно повысить точность, надёжность и информативность получаемых данных.

Анализ изображений, полученных с помощью сканирующего устройства, выполняется с применением цифровых фильтров и специализированного программ

ного обеспечения. На основании результатов анализа шпон классифицируется по сортам (Е, I, II, III или IV) в зависимости от количества выявленных сортообразующих факторов, включая дефекты и пороки. Эти данные автоматически передаются в SCADA-систему для дальнейшей обработки и учёта.

Предлагаемая модель АКО изображена на рис. 3.

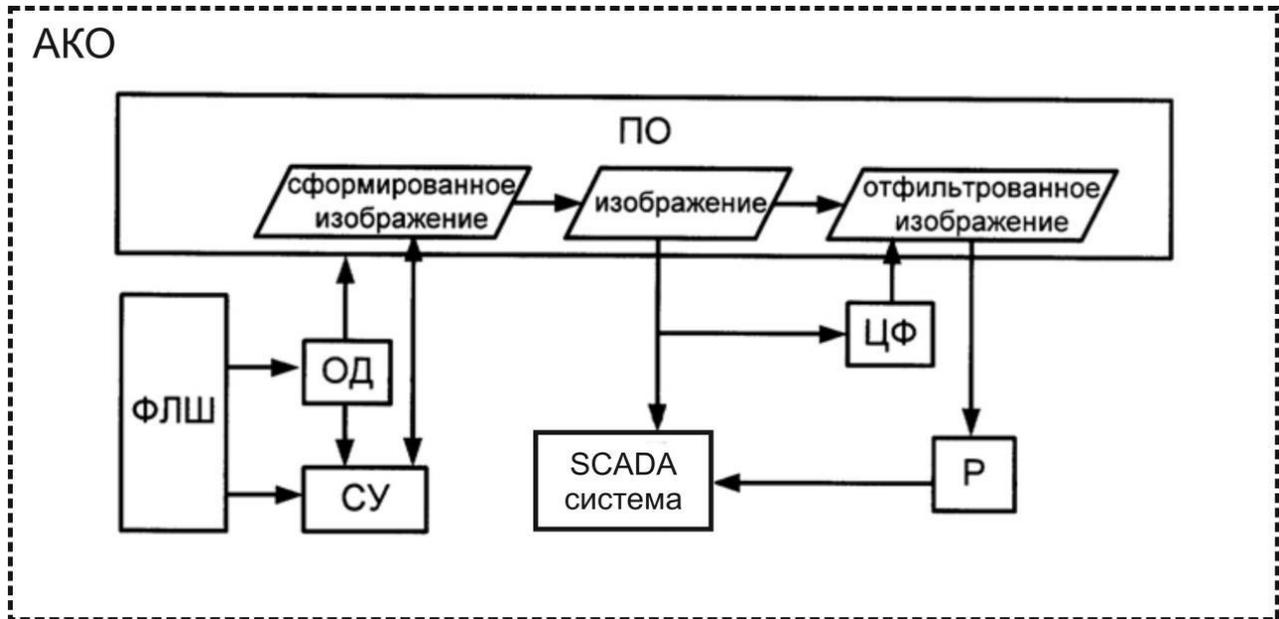


Рис. 3. Модель автоматического контура оценки качества поверхности фанерного лущёного шпона.

Лист фанерного лущёного шпона (ФЛШ) поступает из сушильной камеры, где его движение фиксируется оптоэлектронным датчиком (ОД), запускающим процесс сканирования. Сканирующее устройство (СУ) фиксирует изображение листа, которое преобразуется в графический файл с характеристикой «шкала серого».

На этом этапе цифровые фильтры (ЦФ) обрабатывают изображение, выделяя затемнённые области, свидетельствующие о возможных дефектах и пороках. Для этого изображение в формате «шкала серого» преобразуется в чёрно-белые версии с различными пороговыми уровнями интенсивности цвета. Затем расчётный модуль программы (Р) анализирует полученные обработанные изображения, локализованные дефекты, а также исходное изображение до фильтрации, чтобы проверить параметры выявленных дефектов.

Результаты анализа поступают в SCADA-систему, где каждому листу фанерного лущёного шпона присваивается соответствующий сорт: I, II, III, IV, предназначенный для починки или для внутренних слоёв.

Модель обладает рядом преимуществ, включая повышение точности контроля качества, увеличение объёма полезной информации, уменьшение временных затрат на измерения, а также возможность последующей статистической обработки данных благодаря применению современных вычислительных технологий [6].

Для обеспечения возможности максимально правдоподобного оценивания качества шпона необходимо предусмотреть ручной режим для ситуации, когда сор-

тировщик, контролирующий процесс сортировки, не доверяет автоматической оценке [7].

Для реализации РКО предлагается применение алгоритма управления на основании качественной экспертной информации, для формализации которой удобно использовать методы нечёткой логики (рис. 4). Применение данного подхода в моделировании обусловлено наличием множества разнообразных факторов, влияющих на процесс, а также значительным практическим опытом экспертов-технологов в этой сфере [8–12]. В качестве программного обеспечения используется система Matlab, оснащённая встроенным пакетом Fuzzy Logic Designer. Этот инструмент включает в себя набор прикладных программ, предназначенных для создания систем нечёткого вывода. Основные модули пакета:

- редактор системы нечёткого вывода (FIS-структура, Fuzzy Inference System), который содержит все необходимые данные для реализации функциональной зависимости «входы–выходы» на основе нечёткой логики;
- редактор функций принадлежности (Membership Function Editor), позволяющий задавать и изменять функции принадлежности;
- редактор правил (Rule Editor) для формирования и настройки логических правил;
- модуль логического вывода (Rule Inference), обеспечивающий выполнение операций нечёткого вывода;
- средство визуализации поверхности вывода (Control Surface), предназначенное для анализа и визуального представления системы [8–12].

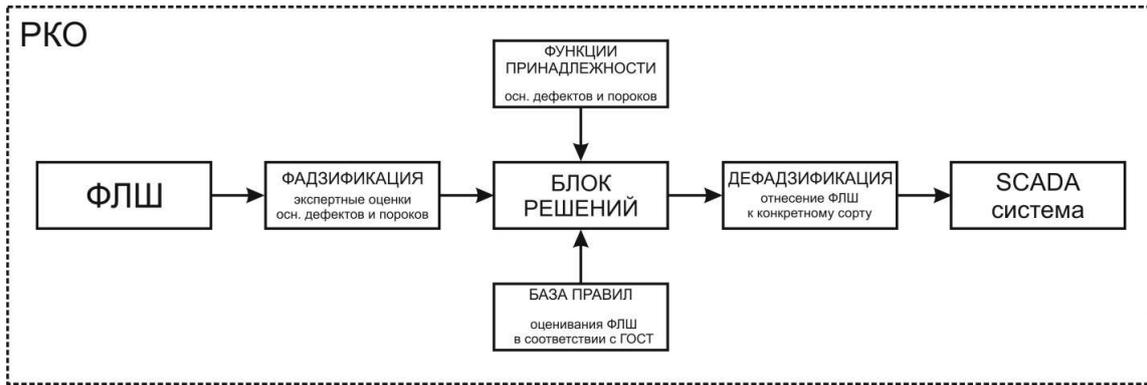


Рис. 4. Модель ручного контура оценки качества поверхности фанерного лущёного шпона

В качестве входных переменных будем использовать наиболее значимые дефекты и пороки шпона, т. е. те, на основании которых с большой долей вероятности можно отнести тот или иной лист шпона к определённому сорту.

1. SoundKnots – здоровые сросшиеся сучки, которые могут быть светлыми или тёмными. Для их оценки используется интегральный параметр, представляющий собой произведение количества сучков на их диаметр (в миллиметрах).

2. UnsoundKnots – сучки, которые частично сросшиеся, несросшиеся, выпадающие, а также отверстия, оставшиеся после них. Их оценка выполняется по тому же принципу.

3. FalseHeartwood – ложное ядро, пятнистость, внутренняя заболонь, химическая окраска, синева, цветные заболонные пятна, продубина – здоровое

изменение окраски. Здесь оценку будем производить по площади, занимаемой окрасками того или иного вида, представленной в процентном отношении к площади самого листа шпона.

4. Cracks – разошедшиеся либо сросшиеся трещины. Оценка будем производить по суммарной площади в мм², занимаемой трещинами разного вида на листе исследуемого шпона.

В соответствии с ГОСТ [3–5] для каждой из вышеприведенных входных переменных закреплены определённые числовые рамки, на основании которых можно получать характеристику качества продукции (для определённости будем рассматривать листовый шпон). В качестве терм-множеств для данных переменных будем использовать следующие категории качества: low; middle; high. Функции принадлежности входных переменных представлены на рис. 5.

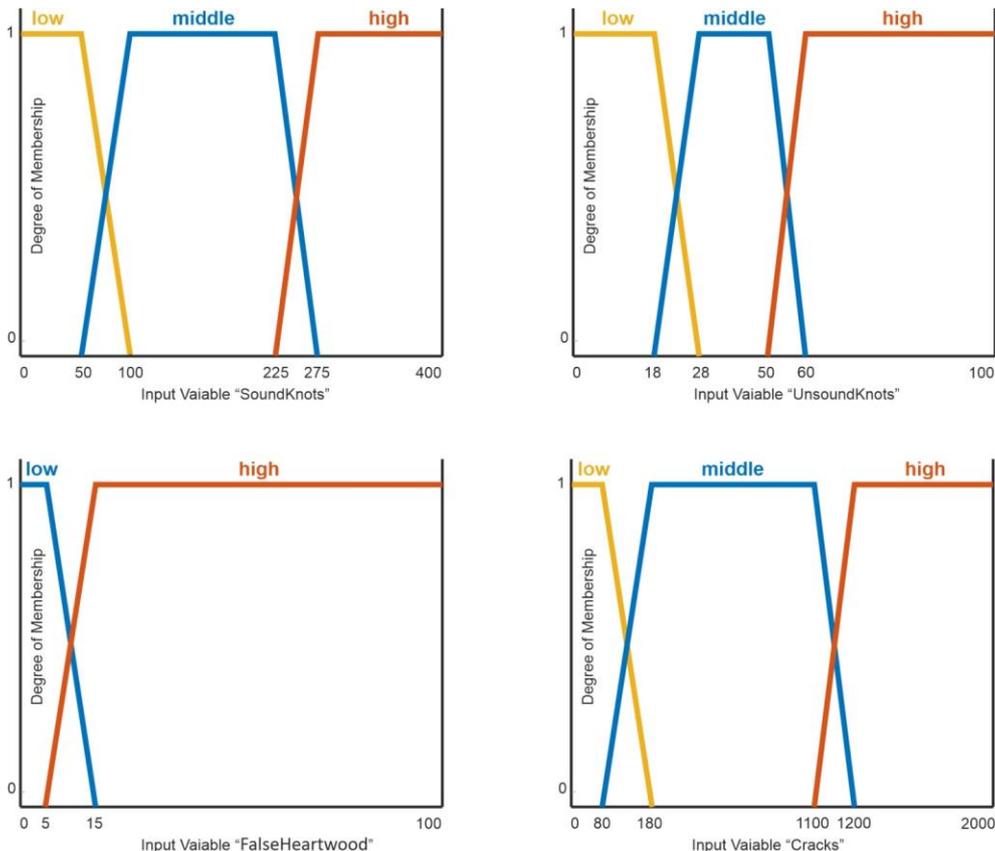


Рис. 5. Функции принадлежности входных лингвистических переменных

В соответствии с ГОСТ 99-2016 шпон лущёный в соответствии с интегральной оценкой может быть отнесён к одному из пяти сортов (E, I, II, III, IV). Поэтому в нашей модели предусмотрены пять выходов по наименованию каждого из сортов с соответствующей

функцией принадлежности (рис. 6). Это позволяет не только отнести оцениваемый материал к тому или иному классу, но и выдать данную оценку в процентном отношении.

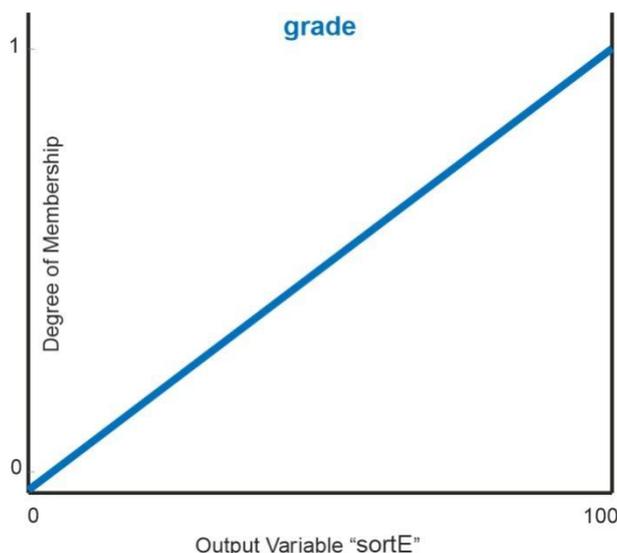


Рис. 6. Функция принадлежности выходных лингвистических переменных

Созданная с помощью редактора системы нечёткого вывода модель с заданными входными и вы-

ходными лингвистическими переменными представлена на рис. 7.

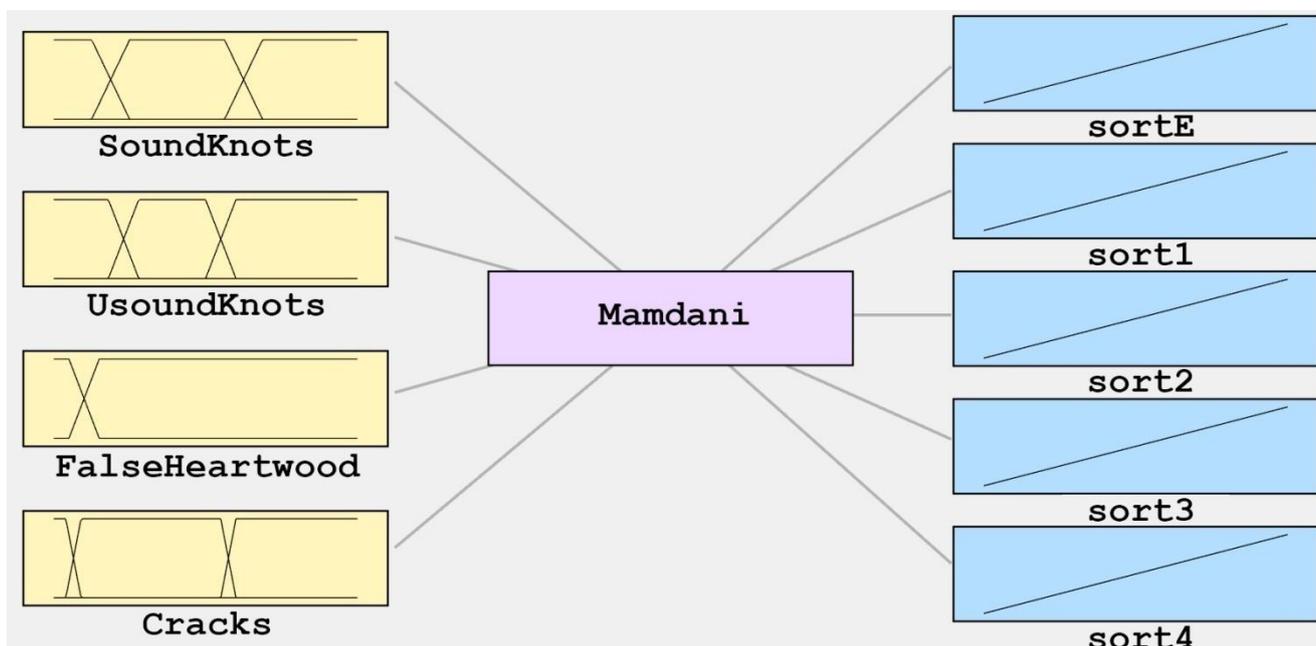


Рис. 7. Нечёткая модель оценки качества листового шпона

Используемый алгоритм Мамдани основан на использовании базы правил вида «Если..., То...», с помощью которой осуществляется формирование нечёткого множества. Ниже приведены составленные с помощью экспертных мнений правила.

IF SoundKnots is low AND UsoundKnots is low AND False Heartwood is low AND Cracks is low THEN sortE is grade

IF SoundKnots is low AND UsoundKnots is low AND False Heartwood is low AND Cracks is middle THEN sort1 is grade

IF SoundKnots is low AND UsoundKnots is low AND False Heartwood is low AND Cracks is high THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is low AND UnsoundKnots is low AND False Heartwood is high AND Cracks is middle THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is low AND UnsoundKnots is low AND Cracks is high THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is low AND UnsoundKnots is middle THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is low AND UnsoundKnots is high THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is middle AND Unsound Knots is low AND False Heartwood is low AND Cracks is low THEN sort1 is grade

IF SoundKnots is middle AND Unsound Knots is low AND False Heartwood is low AND Cracks is high THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is middle AND UnsoundKnots is low AND Cracks is middle THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is middle AND UnsoundKnots is low AND Cracks is high THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is middle AND UnsoundKnots is middle AND Cracks is low THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is middle AND Unsound Knots is middle AND Cracks is middle THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is middle AND UnsoundKnots is middle AND Cracks is high THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is middle AND UnsoundKnots is high THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is high AND UnsoundKnots is middle THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is high AND UnsoundKnots is low AND Cracks is low THEN sort2 is grade

IF SoundKnots is high AND UnsoundKnots is low AND Cracks is middle THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is high AND UnsoundKnots is low AND Cracks is high THEN sort3 is grade

IF SoundKnots is high AND UnsoundKnots is high THEN sort4 is grade

Для оценки валидности построенной компьютерной модели можно задать чёткие значения входных переменных (например, SoundKnots = 10, UnsoundKnots = 10, FalseHeartwood = 3, Cracks = 10) и оценить степень соответствия выданных в результате компьютерного моделирования значений конкретным условиям реального мира. Программа логического вывода Rule Inference рассчитывает искомый итог с помощью дефазификации и при данных входных значениях безусловно относит лист фанеры к сорту E, что соответствует реальности. График зависимости сорта E от двух входных пороков SoundKnots и UnsoundKnots при зафиксированных значениях пороков FalseHeartwood = 3, Cracks = 10 приведён на рис. 8. Из графика очевидно, что лист шпона может быть в данном случае отнесён к сорту E с большой степенью уверенности при очень малых значениях SoundKnots и UnsoundKnots.

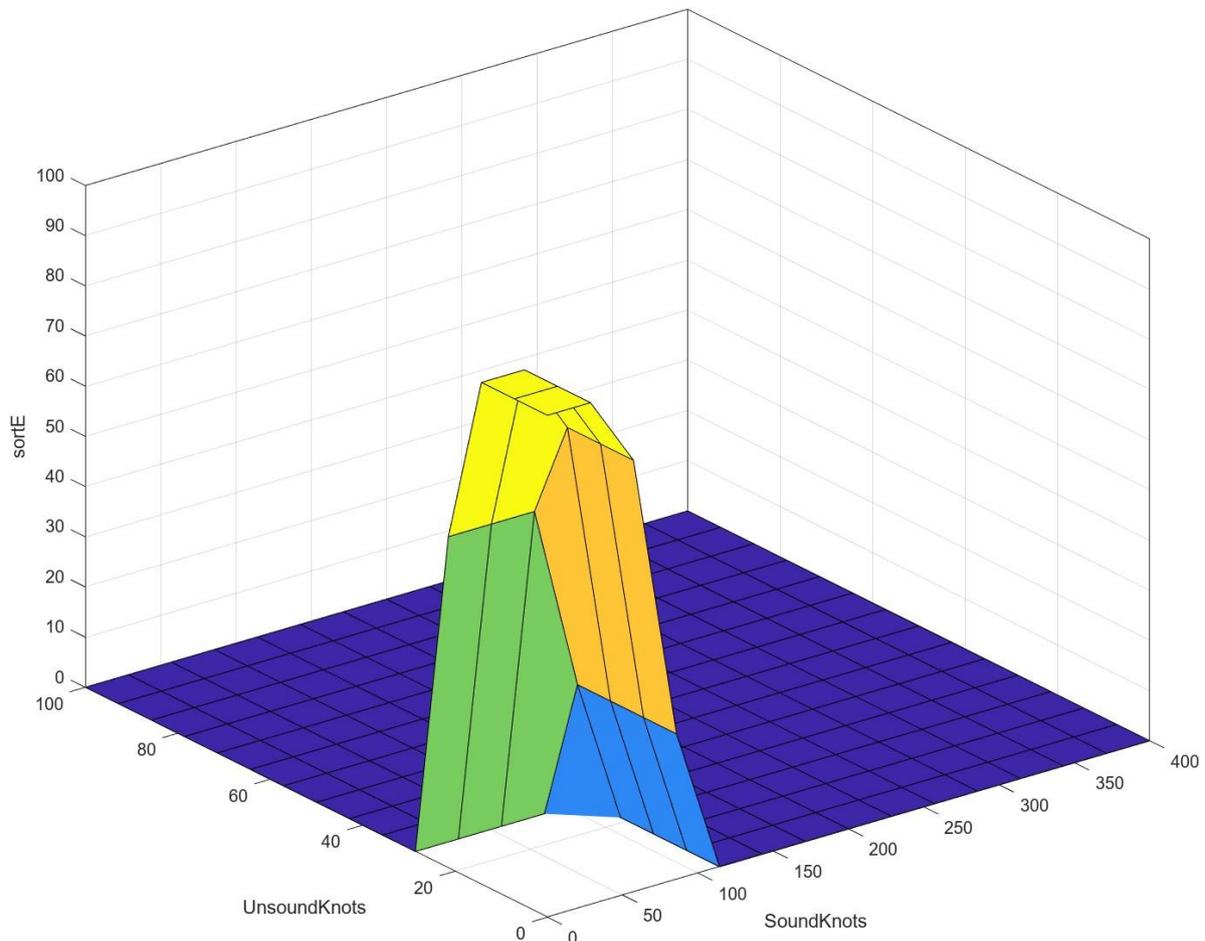


Рис. 8. Зависимость выходной переменной "sortE" от входных переменных

Литература

1. Марков В.А. Описание имитационной модели технологической подготовки сырья к раскрою / В.А. Марков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XXI Международной научно-технической конференции, Вологда, 05 декабря 2023 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 232–235.
2. Шифрин Б.М. Применение SWITCH-технологии для разработки логической модели управления процессом загрузки шпона / Б.М. Шифрин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2009. – № 186. – С. 151–155.
3. ГОСТ 99–2016. Шпон лущёный. Технические условия.
4. ГОСТ 20800–75. Шпон лущёный. Методы испытания.
5. ГОСТ 15812–87. Древесина клееная слоистая. Термины и определения.
6. Проектирование загрузочно-накопительного устройства для роботизированного технологического комплекса / В.А. Марков, В.А. Соколова, А.М. Иванов [и др.] // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2022. – № 30. – С. 42–46.
7. Кистина М.В. Применение автоматизированного контроля толщины плитных древесных материалов / М.В. Кистина, В.А. Марков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : мат-лы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 01 декабря 2020 года. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2020. – С. 220–222.
8. Долгов К.А. Чувствительность САУ как критерий качества сушки шпона / К.А. Долгов, В.А. Марков // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2022 года, Санкт-Петербург, 06–10 февраля 2023 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 266–269.
9. Марков В. А. Современные способы выявления дефектов древесно-стружечных плит / В.А. Марков, Д.А. Попова // Повышение эффективности лесного комплекса : Мат-лы Восьмой Всеросс. национальной науч.-практ. конф. С международным участием, Петрозаводск, 24 мая 2022 года. – Петрозаводск : Петрозаводский государственный университет, 2022. – С. 113–117.
10. Шифрин Б.М. Использование нечётких регуляторов в мехатронике / Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2021. – № 11. – С. 22–25.
11. Марков В.А. Оценка качества фанеры методом экспертных оценок / В.А. Марков, Д.А. Попова, И.А. Сотина // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Мат-лы XX Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 06 декабря 2022 года / Отв. редактор Е.А. Иванищева. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – С. 304–307.
12. Разработка модели управления кондиционером на основе нечёткой логики / Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев, А.И. Шалабот, Е.С. Пендриков // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 : Мат-лы докладов науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 10 апреля 2021 года / Отв.

редактор Е.Г. Хитров. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2021. – С. 583–587.

References

1. Markov V.A. Description of the simulation model of technological preparation of raw materials for cutting / V.A. Markov // Actual problems of development of the forest complex: materials of the XXI International scientific and technical conference, Vologda, December 5, 2023. – Vologda : Vologda State University, 2023. – pp. 232–235.
2. Shifrin B.M. Application of SWITCH technology for development of a logical model for controlling the veneer loading process / B.M. Shifrin // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. – 2009. – № 186. – pp. 151–155.
3. GOST 99–2016. Peeled veneer. Technical conditions.
4. GOST 20800–75. Peeled veneer. Test methods.
5. GOST 15812–87. Glued laminated wood. Terms and definitions.
6. Design of a loading and storage device for a robotic technological complex / V.A. Markov, V.A. Sokolova, A.M. Ivanov [et al.] // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2022. – № 30. – pp. 42–46.
7. Kistina M.V. Application of automated thickness control of wood-based panel materials / M.V. Kistina, V.A. Markov // Actual problems of forestry complex development: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 01, 2020. – Vologda : Vologda State University, 2020. – pp. 220–222.
8. Dolgov K.A. Sensitivity of the automatic control system as a criterion for the quality of veneer drying / K.A. Dolgov, V.A. Markov // Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machinery and Forest Transport based on the results of research work in 2022, St. Petersburg, February 6–10, 2023. – St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. – pp. 266–269.
9. Markov V.A. Modern methods for detecting defects in chipboards / V.A. Markov, D.A. Popova // Improving the efficiency of the forest complex: Proceedings of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation, Petrozavodsk, May 24, 2022. – Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2022. – pp. 113–117.
10. Shifrin B.M. Using fuzzy controllers in mechatronics / B.M. Shifrin, I.V. Eliseev // Automated design in mechanical engineering. – 2021. – № 11. – pp. 22–25.
11. Markov V.A. Plywood quality assessment by expert assessment method / V.A. Markov, D.A. Popova, I.A. Sotina // Actual problems of forestry complex development: Proceedings of the XX International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 06, 2022 / Editor-in-chief E.A. Ivanishcheva. – Vologda : Vologda State University, 2022. – pp. 304–307.
12. Development of the model of air conditioning control based on fuzzy logic/ B.M. Shifrin, Y.V. Eliseev, A.I. Shalabot, E.S. Pendrick // Collection of articles on scientific and technical conference materials of the institute of forest technology vehicles and transport from the results of scientific research Research 2020: Proceedings of the Scientific and Technical Conference, Saint Petersburg, 10 April 2021 / Oct. Editor E.G. Hitrov. – Saint-Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirova, 2021. – pp. 583–587.