



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ДИЗАЙНА



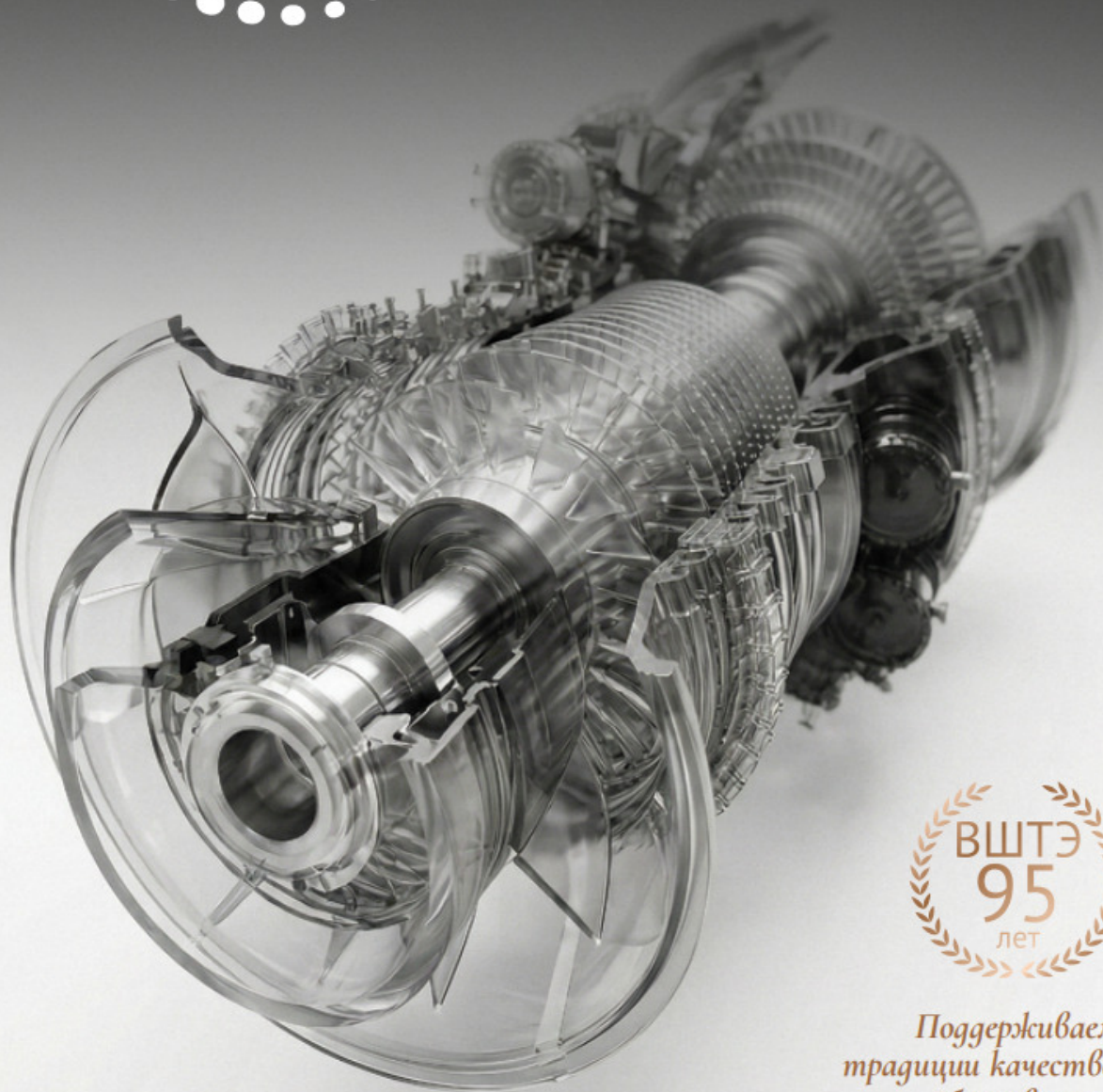
ВЫСШАЯ ШКОЛА
ТЕХНОЛОГИИ
И ЭНЕРГЕТИКИ
(ВШТЭ)

ISSN 3033-7852

ТЕХНОЛОГИЯ и ЭНЕРГЕТИКА

№01 (01) 2026

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



*Поддерживаем
традиции качественного
образования*

19 Разработка экспертной системы
для оптимизации режима сушки пиломатериалов
с целью минимизации брака в среде CLIPS

81 Автоматизация дозирования
и смешивания флокулянта

102 Расчет тепловых потерь через
скользящие опоры трубопроводов
тепловых сетей

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ БРАКА В СРЕДЕ CLIPS

Ирина Викторовна Ремизова, Виктория Дмитриевна Милехина

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета
промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Ремизова И. В., Милехина В. Д., 2026

Автор-корреспондент: И. В. Ремизова, e-mail: hvd.02@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена разработке прототипа экспертной системы, направленной на оптимизацию режимов камерной сушки пиломатериалов хвойных пород с целью снижения уровня брака и повышения качества конечной продукции. Процесс сушки древесины является одним из наиболее энергоемких и критически важных этапов в деревообработке. При этом традиционные методы выбора режимов, основанные на требованиях ГОСТ 19773–84 и субъективном опыте операторов, нередко приводят к появлению дефектов, таких как растрескивание, коробление и потемнение. Основной целью исследования стала разработка прототипа экспертной системы на базе среды CLIPS, позволяющей автоматизировать выбор температурно-влажностных режимов сушки. В ходе работы была создана структура базы знаний, использующая шаблоны (deftemplate) и факты (defacts), которые описывают параметры сушки — температуру, психрометрическую разность и степень насыщенности — в зависимости от вида древесины, толщины пиломатериалов, начальной влажности и необходимого качества продукции (мягкий, нормальный или форсированный режим). Механизм логического вывода, реализованный через правила (defrule), предоставляет системе возможность генерировать индивидуальные рекомендации на основе данных, введенных пользователем. Новизна подхода заключается в интеграции стандартизированных данных и экспертных знаний в единую систему, что позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, повысить объяснимость технологического процесса и сократить количество брака. Приведены примеры разработки программного кода для решения поставленной задачи. Результаты исследования демонстрируют перспективность применения экспертных систем для стандартизации и автоматизации процессов сушки древесины, а также возможность дальнейшего масштабирования для включения режимов сушки лиственных пород и интеграции с системами управления сушильными камерами в реальном времени.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, сушка пиломатериалов, среда разработки CLIPS, автоматизация процессов сушки

Для цитирования: Ремизова И. В., Милехина В. Д. Разработка экспертной системы для оптимизации режима сушки пиломатериалов с целью минимизации брака в среде CLIPS // Технология и энергетика. 2026. № 1 (1). С. 19–27. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_19-27

DESIGNING A CLIPS-BASED EXPERT SYSTEM TO OPTIMIZE SAWN TIMBER DRYING SCHEDULES AND MINIMIZE WASTE

Irina Viktorovna Remizova, Viktoria Dmitrievna Milekhina

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
St. Petersburg, Russia

Corresponding author: I. V. Remizova, e-mail: hvd.02@mail.ru

ABSTRACT

This paper presents the development of an expert system prototype designed to optimize the chamber drying schedules for softwood sawn timber, aiming to reduce waste and improve final product quality. The wood drying process is one of the most energy-intensive and critical stages in wood processing. At the same time, conventional approaches



to setting drying regimes, which rely on the GOST 19773–84 standard and operators' subjective judgment, frequently result in defects like cracking, warping, and darkening. The main goal of the study was to create a CLIPS-based expert system prototype capable of automating the choice of temperature-humidity drying schedules. During the development, the knowledge base structure was implemented using CLIPS templates (deftemplate) and fact lists (deffacts). This structure encodes the drying parameters (temperature, psychrometric difference, and saturation degree) as functions of the wood type, sawn timber thickness, initial moisture, and the target product quality, which corresponds to a soft, normal, or intensified drying parameters. The logical inference mechanism, realized through production rules (defrule), enables the system to generate tailored recommendations from the data supplied by the user. The novelty of the approach lies in the integration of standardized data and expert knowledge into a unified system. This integration minimizes the influence of the human factor, enhances the explainability of the technological process, and reduces the defect rate. Examples of the source code implementation for solving the given task are presented. The results indicate the feasibility of expert systems to standardize and automate wood drying, with potential for scaling to hardwoods and real-time chamber control integration.

Keywords: expert system, database, sawn timber drying, CLIPS development environment, drying process automation

For citation: Remizova I. V., Milekhina V. D. (2026) Development of an expert system for optimizing the drying mode of sawn timber in order to minimize defects in the CLIPS environment, Technology and Energy, vol. 1, no. 1, pp. 19–27. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_19-27

ВВЕДЕНИЕ

Цель данного исследования — разработка прототипа экспертной системы на базе среды CLIPS для автоматизированного выбора оптимальных температурно-влажностных режимов сушки пиломатериалов хвойных пород, обеспечивающей снижение брака, повышение качества продукции и минимизацию влияния человеческого фактора на технологический процесс.

В рамках исследования поставлены **задачи**: формализации знаний на основании технической литературы и сведений ГОСТ для создания базы знаний экспертной системы. Разработка базы знаний и базы данных, в том числе создание шаблонов и фактов в среде CLIPS, отражающих параметры режимов сушки (температура, степень насыщенности,

психрометрическая разность) для различных категорий древесины и толщины пиломатериалов. Реализация механизма логического вывода посредством написания правил для генерации рекомендаций по режимам сушки на основе входных данных пользователя. Проверка работоспособности прототипа и оценка эффективности системы по критериям снижения субъективного фактора, повышения объяснимости и сокращения брака.

Предметом исследования является процесс камерной сушки пиломатериалов хвойных пород (сосна, ель, пихта, кедр) с акцентом на формализацию и автоматизацию выбора температурно-влажностных режимов на основе требований ГОСТ и экспертных знаний.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Сушка древесины — один из наиболее энергоёмких и критичных этапов деревообработки, где высок риск возникновения дефектов (растрескивание, коробление, потемнение). Существующие методы подбора режимов сушки (опыт операторов, стандартные таблицы ГОСТ) неадаптивны, зависят от человеческого фактора и не обеспечивают единой формализованной системы. Разработка экспертной системы позволит стандартизировать процесс сушки, снизить количество брака, повысить качество готовой продукции, минимизировать материальные потери.

НОВИЗНА

Для задачи сушки пиломатериалов предложено использовать экспертную систему на базе CLIPS, обеспечивающую формализацию и автоматизацию выбора режимов

сушки. Создана структура базы знаний, объединяющая требования ГОСТ 19773–84 и опыт специалистов, что позволяет генерировать адаптивные рекомендации. Система предоставляет аргументированные рекомендации, что отличает её от традиционных «чёрных ящиков» автоматизированных систем. Разработанный прототип может быть расширен для включения режимов сушки лиственных пород и интеграции с системами автоматизированного управления сушильными камерами в реальном времени.

Древесина относится к гигроскопичным материалам и при изменении влажности окружающей среды взаимодействует с воздухом поглощая или отдавая влагу. Данный процесс продолжается, пока не наступает баланс между влажностью древесины и окружающей среды. В зависимости от колебаний относительной влажности меняются и размеры изделий из древесины. Заданное



и равномерное содержание влаги в древесине необходимо для правильной обработки, склеивания и отделки продукции.

Процесс сушки древесины — один из самых энергоемких и критичных этапов, где легко возникают дефекты. Режим сушки зависит от породы, размеров, влажности и назначения высушиваемых пиломатериалов. Систематизация накопленного опыта и принятых стандартов служит ключевой задачей для оптимизации данного этапа производства и сокращения брака продукции [1].

К преимуществам сушки относятся уменьшение веса, повышение прочности и устойчивости к биологическому разрушению. По этим причинам пиломатериалы необходимо высушивать перед использованием в дальнейшем производстве. Выделяют два основных способа сушки древесины: воздушная сушка и сушка в печи.

Воздушная сушка пиломатериалов подразумевает естественный процесс высушивания на открытом воздухе в течение длительного времени. Он зависит от погодных условий, является нестабильным и неконтролируемым. Кроме того, этот метод требует значительных пространственных, временных и, следовательно, финансовых затрат.

Сушка в специальной печи (камерная сушка) тщательно контролируется и происходит гораздо быстрее. Древесина находится в сушильной камере, где регулируются циркуляция воздуха, параметры влажности и температуры. Это позволяет снизить влажность древесины до нужного уровня без каких-либо дефектов, связанных с сушкой [2].

В настоящее время для задачи сушки пиломатериалов широко используются стандартные режимы по ГОСТ, опыт операторов и технологические регламенты производства. Однако эти методы имеют ограничения, такие как не адаптивность, зависимость от человеческого фактора, отсутствие объяснимости и единой, формализованной системы.

АРХИТЕКТУРА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Применение интеллектуальных технологий стало востребованным в различных отраслях производства. Одним из основополагающих аспектов развития интеллектуальных технологий является использование интеллектуальных информационных или экспертных систем [3]. Экспертная система — это информационная система, имитирующая аналитические рассуждения специалиста в конкретной области для решения сложных задач на основе накопленных знаний [4].

Экспертная система реализует формализацию и применение опыта специалистов в узкой предметной области, манипулируя символическими значениями. Ее ключевой функцией является решение неформализованных задач с помощью логического вывода на основе базы знаний и предоставление аргументированных рекомендаций, которые моделируют компетентность специалиста.

Ключевые компоненты экспертной системы:

- База знаний — это структурированное хранилище информации в конкретной предметной области, представленное в виде совокупности фактов и правил.
- Механизм вывода — программный модуль, реализующий алгоритмы рассуждения и принятия решений на основе известных правил.
- Пользовательский интерфейс — функционал, позволяющий взаимодействовать пользователю с системой [5].

Одной из первых разработанных сред для создания экспертных систем является программная среда CLIPS (C Language Integrated Production System). Первый прототип CLIPS разработан в 1985 году в космическом центре NASA, США. На текущий момент CLIPS представляет собой востребованный инструмент создания экспертных систем с бесплатно распространяемым, доступным исходным кодом [6].

В данной работе предлагается при использовании экспертной системы, созданной в среде CLIPS, сформировать подход к формализации правил выбора температурно-влажностного режима сушки пиломатериалов опираясь на данные ГОСТ и технической литературы.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ И БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

При разработке экспертной системы необходимо формализовать полученную информацию, то есть построить базу знаний и базу данных. В качестве экспертных данных используется ГОСТ 19773–84 о режимах низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, пихты и кедра в камере периодического действия [7]. Камера периодического действия — это тип сушильного оборудования, в котором процесс сушки протекает циклически (периодами) [8].

Режим сушки древесины — низкотемпературный или высокотемпературный — устанавливается в соответствии с требованиями к конечной продукции и видом используемой древесины. При низкотемпературном режиме выделяют три категории сушки: мягкая (М) — бездефектная сушка материалов с сохранением первоначальных свойств, нормальная (Н) — бездефектная сушка с сохранением прочности, но с возможными изменениями цвета материалов, форсированная (Ф) — сушка



пиломатериалов при некотором снижении прочности на скалывание и сопротивление раскалыванию с возможным потемнением древесины.

Параметрами, характеризующими режимы сушки, являются температура t , степень насыщенности ϕ и психрометрическая разность $\Delta t = t - t_m$, где t_m — температура смоченного термометра психрометра.

Режим сушки пиломатериалов в паровоздушной камере периодического действия характеризуется состоянием сушильного агента перед подачей его на высушиваемый материал. Это состояние изменяют периодически, по ступеням, в зависимости от влажности древесины. Влажность, при которой переходят со ступени на ступень, называют переходной влажностью. Число ступеней и значения переходной влажности устанавливают по таблицам режимов. Процесс сушки прекращают при достижении древесиной в камере, заданной средней конечной влажности [7].

В таблице 1 рассмотрен пример заполнения базы знаний для заданных параметров породы, толщины и начальной влажности. В ней наглядно представлены рекомендуемые параметры сушки для оператора при выборе заданного качества пиломатериалов.

В данной модели экспертной системы за основной параметр принимается качество конечного продукта, которое технолог устанавливает перед началом процесса сушки. Для достижения высокого качества предпочтителен мягкий режим сушки, способствующий максимальному сохранению исходных характеристик древесины. В случае выбора низкого качества потребуются применение форсированного режима, что может привести к частичному снижению прочности пиломатериалов и возможному потемнению древесины. К дополнительным параметрам относятся текущие характеристики древесины — порода, толщина и начальная влажность.

Следующим этапом разработки экспертной системы является создание базы данных на основе указанных параметров в базе знаний. В таблице 2 приведены значения характеристик влажности и параметров режимов сушки [7].

Структура предметной области, соответствующая базе знаний и параметрам базы данных, применяется для внесения данных в среду разработки CLIPS.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ В СРЕДЕ CLIPS

В первую очередь необходимо внести основные параметры и их значения в среду CLIPS. Для определения структуры фактов используется конструкция `deftemplate`.

Шаблон `deftemplate` является декларативной конструкцией в системе CLIPS, предназначенной для определения структурированных фактов. С точки зрения формальных систем, `deftemplate` задаёт типовую схему элементов рабочей памяти, обеспечивая структурированную организацию знаний [9].

Для параметров процесса выделено три шаблона, а именно пиломатериалы, режим сушки, рекомендации, представленные на рисунках 1–3 соответственно. Каждому режиму сушки — мягкий, нормальный и форсированный — поставлено в соответствие числовое значение. Аналогичным способом в системе хранятся и типы древесины.

Следующим шагом реализации модели является внесение фактов на основе таблицы базы данных с помощью конструкции `defacts` [9]. На рисунке 4 приведен пример заполнения факта для мягкого режима при толщине пиломатериала до 22 мм и влажности до 20%.

Подобным образом заполняются оставшиеся факты в формате «шаблон-факты», отражающие актуальные значения технологического процесса.

Таблица 1. Параметры сушки для заданных параметров породы, толщины и начальной влажности

Table 1. Drying parameters for given wood species, thickness, and initial moisture content

Основной параметр	Дополнительные параметры	Рекомендация	Рекомендуемые параметры сушки
Высокое качество пиломатериалов	Порода — сосна Толщина — 23	Мягкий режим	$t, C^{\circ}=77$ $\Delta t, C^{\circ}=25$ $\phi=0,29$
Хорошее качество пиломатериалов	Начальная влажность — 19	Нормальный режим	$t, C^{\circ}=105$ $\Delta t, C^{\circ}=33$ $\phi=0,26$
Удовлетворительное качество пиломатериалов		Форсированный режим	$t, C^{\circ}=123$ $\Delta t, C^{\circ}=41$ $\phi=0,22$



Таблица 2. База данных

Table 2. Database

Порода	Качество	Влажность, %	Параметры режима	Толщина, мм											
				до 22	св. 22 до 25	св. 25 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 75	св. 75 до 100				
Хвойные (сосна, ель, пихта и кедр)	Высокое	Мягкий режим													
		<20	t, C° $\Delta t, C^{\circ}$ φ	77 26 0,27	77 25 0,29	77 24 0,31	75 24 0,30	75 24 0,30	75 24 0,30	70 21 0,33	70 20 0,35				
				20–35	61 10 0,59	61 9 0,62	61 8 0,66	58 7 0,69	58 7 0,69	58 7 0,69	55 6 0,72	55 5 0,76			
					>35	57 6 0,73	57 5 0,77	57 4 0,81	55 4 0,81	55 4 0,81	55 4 0,81	52 3 0,84	52 2 0,90		
		Хорошее		Нормальный режим											
				<25	t, C° $\Delta t, C^{\circ}$ φ	110 36 0,24	105 33 0,26	105 32 0,27	100 30 0,29	96 28 0,31	94 27 0,32	85 24 0,33	75 22 0,34		
						25–35	88 14 0,55	84 12 0,59	84 11 0,62	80 10 0,64	77 9 0,66	75 8 0,70	68 7 0,71	58 5 0,77	
							>35	83 9 0,68	79 7 0,73	79 6 0,77	75 5 0,80	73 5 0,80	71 4 0,83	64 3 0,86	55 2 0,90
				Удовлетвори- тельное		Форсированный режим									
						<25	t, C° $\Delta t, C^{\circ}$ φ	125 42 0,21	123 41 0,22	123 39 0,24	120 37 0,25	115 36 0,25	110 32 0,29	98 29 0,30	- - -
	25–35							99 16 0,54	97 15 0,55	97 13 0,60	95 12 0,62	92 11 0,64	88 10 0,66	78 9 0,66	- - -
			>35					94 11 0,65	92 10 0,67	92 8 0,73	90 7 0,75	87 6 0,78	83 5 0,80	73 4 0,84	- - -

```
(deftemplate lumber
  (slot woodSpecies)
  (slot thickness)
  (slot quality)
  (slot initialMoisture)
)
```

Рисунок 1. Шаблон для параметра: пиломатериалы

Figure 1. Parameter template: sawn timber

Знания в определенной предметной области в системе CLIPS представлены в виде правил, состоящих из предпосылок и действий. Предпосылки определяют условия применимости правил, которые задают последовательность шагов для конкретного случая [10]. Правила формулируются в формате «ЕСЛИ-ТО» и реализуются с помощью команды `defrule`, что позволяет создавать алгоритмы для записи новых фактов и предоставления рекомендаций [9].

Для решаемой задачи создано правило, сравнивающее введенные данные пользователя о пиломатериалах и требуемое качество с тем, что описано

```
(deftemplate recommendation
  (slot woodSpecies)
  (slot categoryMode)
  (slot temperature)
  (slot psychometricDifference)
  (slot degreeOfSaturation)
  (slot explanation)
)
```

Рисунок 2. Шаблон для параметра: режимы сушки

Figure 2. Parameter template: drying schedule

```
(deftemplate drying_mode
  (slot id_mode)
  (slot categoryMode)
  (slot woodSpecies)
  (slot minthickness)
  (slot maxthickness)
  (slot minMoisture)
  (slot maxMoisture)
  (slot temperature)
  (slot psychometricDifference)
  (slot degreeOfSaturation)
  (slot description)
)
```

Рисунок 3. Шаблон для параметра: рекомендации

Figure 3. Parameter template: recommendations

```
(def facts drying_modes
  (drying_mode (id_mode 1) (categoryMode 1) (woodSpecies 1)
    (minthickness 0) (maxthickness 22) (minMoisture 0) (maxMoisture 20)
    (temperature 77) (psychometricDifference 26) (degreeOfSaturation 0.27)
    (description "Мягкий режим для сосны высокого качества"))
)
```

Рисунок 4. Пример заполнения факта для мягкого режима

Figure 4. Sample entry for the Soft mode parameter

```
(defrule find_drying_step
  (lumber (woodSpecies ?woodSpecies) (thickness ?thickness) (initialMoisture ?initialMoisture))
  (selected_mode (categoryMode ?category))
  (drying_mode (id_mode ?id) (categoryMode ?category) (woodSpecies ?woodSpecies)
    (minthickness ?min_thick) (maxthickness ?max_thick)
    (minMoisture ?min_moist) (maxMoisture ?max_moist)
    (temperature ?temp) (psychometricDifference ?psych_diff)
    (degreeOfSaturation ?saturation) (description ?desc))
  (test (and (>= ?max_thick ?thickness)
    (<= ?min_thick ?thickness)
    (>= ?max_moist ?initialMoisture)
    (>= ?initialMoisture ?min_moist)))
  =>
  (assert (recommendation (woodSpecies ?woodSpecies)
    (categoryMode ?category)
    (temperature ?temp)
    (psychometricDifference ?psych_diff)
    (degreeOfSaturation ?saturation)
    (explanation ?desc)))

  (printout t "=== НАЙДЕН ПОДХОДЯЩИЙ РЕЖИМ СУШКИ ===" crlf)
  (printout t "ID режима: " ?id crlf)
  (printout t "Температура: " ?temp "%C" crlf)
  (printout t "Психометрическая разность: " ?psych_diff "%C" crlf)
  (printout t "Степень насыщенности: " ?saturation crlf)
  (printout t "Описание: " ?desc crlf)
)
```

Рисунок 5. Правило технологического процесса сушки

Figure 5. Drying process rule

в базе данных, с последующей выдачей рекомендаций на основании проанализированной информации. На рисунке 5 представлен пример полученного правила для технологического процесса сушки.

Работоспособность описанных конструкций кода проверяется с помощью команд `reset` (очистка памяти и перезапуск процесса) и `run` (запуск кода). Результат, полученный для приведенного примера, представлен ниже на рисунке 6.

В верхней части экрана выведена информация по настройке параметров процесса сушки для получения древесины хорошего качества. В нижней части расположены зафиксированные и созданные факты.

В ходе использования экспертной системы могут возникнуть ситуации, когда входные параметры сушки, такие как порода, толщина, начальная влажность и требуемое качество, не соответствуют строго одному из заранее определённых режимов

или противоречат друг другу, находясь на границе нескольких категорий. В таких обстоятельствах система, вместо того чтобы предоставить стандартную рекомендацию, может выводить специальное сообщение, подчеркивающее неоднозначность классификации. В этом сообщении будет представлена информация о диапазонах параметров, в которых находятся введённые данные, а также о конкретном параметре, превышающем установленные пределы. Например, система может обнаружить, что указанная толщина пиломатериала находится на границе между двумя категориями, и в таком случае предложит пользователю уточнить исходные данные или предоставит обобщённую рекомендацию, основанную на усреднённых или интерполированных значениях параметров из смежных режимов. Данный подход увеличивает адаптивность системы, помогает избежать ошибочных рекомендаций в нестандартных условиях и содействует принятию более обоснованных технологических решений.

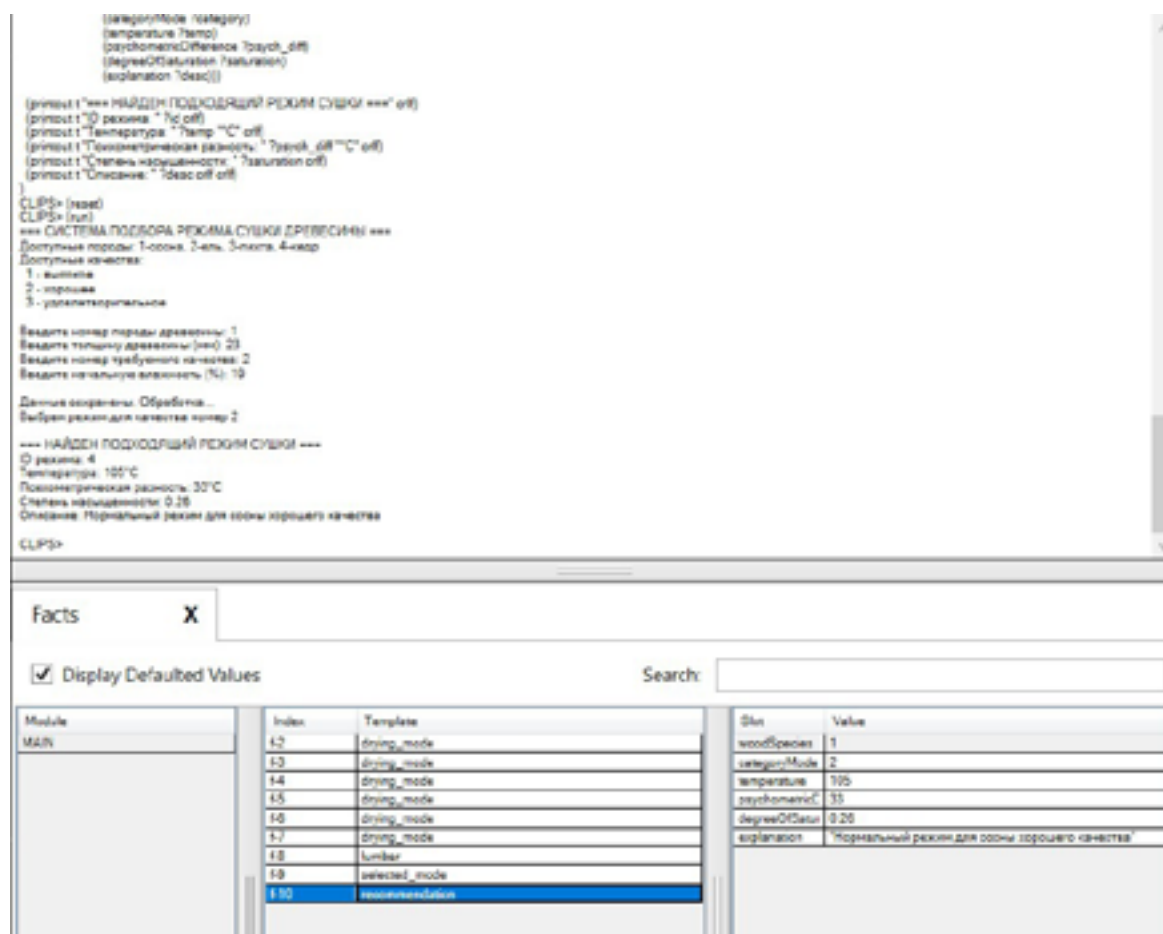


Рисунок 6. Результат проверки работы экспертной системы
Figure 6. Results of the expert system operation verification

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе проведенного исследования был успешно разработан и протестирован функциональный прототип экспертной системы для выбора оптимального режима сушки пиломатериалов хвойных пород в среде CLIPS. Основным результатом работы является формализованная база знаний, содержащая правила и факты, соответствующие требованиям ГОСТ 19773–84, и механизм логического вывода, обеспечивающий на их основе генерацию рекомендаций.

Реализованная модель демонстрирует свою работоспособность на примере выбора параметров для мягкого режима сушки пиломатериалов толщиной до 22 мм с начальной влажностью менее 20%. Как показано на рисунке 6, система корректно проанализировала входные данные и выдала релевантные значения температуры (77 °C), психрометрической разности (26 °C) и степени насыщенности (0,27), соответствующие табличным данным стандарта.

На основе полученных результатов можно выделить ключевые преимущества предложенного подхода:

- Снижение субъективного фактора. Система минимизирует зависимость технологического процесса от опыта и квалификации оператора, предоставляя формализованные и воспроизводимые рекомендации.
- Повышение объяснимости. Экспертная система на основе правил CLIPS предоставляет прозрачную логику принятия решений, что позволяет проверить и обосновать выданные параметры режима.
- Сокращение брака. Автоматизированный подбор режима, строго следующего стандартам, направлен на минимизацию таких дефектов сушки, как растрескивание, коробление и потемнение древесины, что в конечном итоге ведет к повышению выхода качественной продукции.

Таким образом, результаты проверки прототипа подтверждают адекватность выбранного метода и корректность реализации базы знаний. Разработанная

система представляет собой готовый инструмент, способный служить основой для создания более сложных адаптивных систем управления сушильными процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе решена задача разработки прототипа экспертной системы, предназначенной для оптимизации режима камерной сушки пиломатериалов хвойных пород. В качестве инструментальной среды была выбрана система CLIPS, доказавшая свою эффективность для создания подобных моделей, основанных на правилах.

Разработанная экспертная система может найти практическое применение в технологически значимых ситуациях деревообрабатывающих производств, способствуя их оптимизации и модернизации. В частности, она способствует стандартизации технологических процессов через унификацию процедур выбора температурно-влажностных режимов сушки, что имеет особое значение для предприятий, где отсутствуют четкие методические указания. Внедрение требований государственного стандарта ГОСТ 19773–84 в базу знаний системы обеспечивает соответствие нормативным параметрам технологического процесса, что помогает минимизировать риски отклонений от установленных стандартов.

Кроме того, данная система помогает уменьшить влияние субъективных факторов на принятие технологических решений, особенно в условиях нехватки высококвалифицированных технологов. Формализация экспертных знаний в виде логических правил способствует снижению зависимости качества продукции от человеческого фактора, что, в свою очередь, уменьшает вероятность ошибок, связанных с недостаточным опытом работников. Это достигается посредством алгоритмического выбора режимов сушки — мягкого, нормального или форсированного — в зависимости от специфических характеристик материала. Такой подход оптимизирует один из наиболее энергозатратных этапов деревообработки, снижая производственные потери и уровень брака, а также предотвращая такие дефекты, как растрескивание, коробление и изменение цвета древесины.

Экспертная система также обладает значительным образовательным и тренировочным потенциалом, выступая в роли интерактивного инструмента для подготовки специалистов в области технологии деревообработки. Она демонстрирует логику выбора режимов сушки, основываясь на нормативных документах, что способствует повышению квалификации сотрудников.

Практическая значимость работы заключается в создании доступного и эффективного средства поддержки принятия решений для технологических и инженерных служб деревообрабатывающих предприятий. Внедрение подобной системы позволит стандартизировать процесс сушки, снизить количество брака, обусловленного человеческим фактором, и сохранить материальные ресурсы.

Перспективы дальнейших исследований видятся в расширении базы знаний для включения режимов сушки лиственных пород и высокотемпературных процессов, а также в интеграции разработанной экспертной системы с системами автоматизированного управления сушильными камерами в режиме реального времени.

Список литературы

1. Гороховский А. Г., Шишкина Е. Е., Агафонов А. С. Производственные испытания технологии сушки древесины берёзы бесступенчатыми режимами // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 2 (93). С. 125–132. DOI 10.51318/FRET.2025.93.2.015.
2. Hanna Botter-Kuisch, Jan Van den Bulcke, Jan M. Baetens, Joris Van Acker. Experimental results of monitoring wood drying and the occurrence of drying cracks in real-time in hardwoods // Hardwood Conference Proceedings. 2021. Vol. 9, part II. Pp. 17–24.
3. Мамедова Л. Э., Иванова Л. Н., Алтаев Е. С. Основные аспекты технологии искусственного интеллекта // Известия высших учебных заведений. (Экономика, финансы и управление производством). 2023. № 3 (57). С. 78–88. DOI 10.6060/ivecofin.2023573.656.
4. Луткевич Б. Экспертная система. URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/expert-system> (дата обращения: 01.11.2025).
5. Селезнева В. С. Экспертная система как инструмент метаязыковой коммуникации // Russian Linguistic Bulletin. 2023. № 8 (44). С. 14. DOI 10.18454/RULB.2023.44.14.
6. Култыгин О. П. Экспертные системы анализа предметной области для проектирования информационных систем // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 2. С. 105–118. DOI: 10.37791/2687-06492020-15-2-105-118.
7. ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия: введ. 1985-01-01. Москва: Стандартинформ, 2009. 13 с.
8. Avramidis S., Lazarescu C., Rahimi S. Basics of Wood Drying // ResearchGate. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/369768547_Basics_of_Wood_Drying. (дата обращения: 01.11.2025).
9. Речинский А. В., Станкевич Л. А., Черненькая Л. В., Черненький А. В. Анализ особенностей построения экспертных систем // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 4. С. 199–205. DOI 10.24412/2071-6168-2023-4-199-205.



10. Joseph C. Giarratano. CLIPS User's Guide: version 6.4. CLIPS Rules. URL: <https://clipsrules.net/documentation/v642/ug642.pdf> (дата обращения: 04.11.2025).

References

1. Gorokhovskiy A. G., Shishkina E. E., Agafonov A. S. Plant testing of birch wood drying technology using stepless modes, *Forests of Russia and their management*. 2025. Vol. 93, no. 2. Pp. 125–132. DOI 10.51318/FRET. 2025.93.2.015.
2. Hanna Botter-Kuisch, Jan Van den Bulcke, Jan M. Baetens, Joris Van Acker (2021) Experimental results of monitoring wood drying and the occurrence of drying cracks in real time in hardwoods, *Hardwood Conference Proceedings*. Vol. 9, part II. Pp. 17–24.
3. Mamedova L. E. Ivanova L. N., Altayev E. S. (2023) Main aspects of artificial intelligence technology, *News of higher educational institutions. (Economics, finance and production management)*. Vol. 57, no. 3. Pp. 78–88. DOI 10.6060/ivecofin. 2023573.656.
4. Lutkevich Ben. Expert system. URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/expert-system> (accessed: 01.11.2025).
5. Selezneva V. S. (2023) Expert system as a tool for metalin-guistic communication, *Russian Linguistic Bulletin*, no. 8 (44). Pp. 14. DOI 10.18454/RULB. 2023.44.14.
6. Kultygin O. P. (2020) Expert systems for domain analysis for information system design, *Applied Informatics*, no. 15, pp. 105–118. DOI: 10.37791/2687-06492020-15-2-105-118.
7. GOST 19773–84. Softwood and hardwood lumber. Drying modes in periodic chambers: introduction. 1985-01-01. Moscow: Standartinform, 2009. 13 p.
8. Avramidis S., Lazarescu C., Rahimi S. (2023) Basics of Wood Drying, *ResearchGate*. URL: https://www.researchgate.net/publication/369768547_Basics_of_Wood_Drying. (Accessed: 01.11.2025).
9. Rechinsky A. V., Stankevich L. A., Chernenkaya L. V., Chernenky A. V. (2023) Analysis of the Features of Building Expert Systems, *Bulletin of Tula State University. Technical Sciences*. No. 4, pp. 199–205. DOI 10.24412/2071-6168-2023-4-199-205.
10. Joseph C. Giarratano. CLIPS User's Guide: version 6.4, *CLIPS Rules*. URL: <https://clipsrules.net/documentation/v642/ug642.pdf> (accessed: 04.11.2025).

Информация об авторах

Ремизова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой прикладной математики и информатики Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, РФ, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; SPIN-код: 8812–0734; Author ID: 420352; e-mail: remirina@bk.ru.

Information about the authors

Remizova Irina Viktorovna, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Informatics of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; SPIN-код: 8812–0734; Author ID: 420352; e-mail: remirina@bk.ru.

Милехина Виктория Дмитриевна, студент Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, РФ, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, e-mail: hvd.02@mail.ru.

Milekhina Viktoria Dmitrievna, student of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095, e-mail: hvd.02@mail.ru.

