

# ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

## ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 619 (004.891.3)

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

### Создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Часть 1: Формализация задач

В. В. Побединский<sup>1</sup> , А. А. Побединский<sup>2</sup>  , Г. А. Иовлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

 [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru)



EDN: GVUYMT

#### Аннотация

**Введение.** Совершенствование методов диагностирования ацидоза рубца у коров представляет собой весьма актуальную проблему по причине распространенности этого заболевания и падежа скота. Наиболее перспективными методами ранней диагностики этой патологии являются профилактические проекты или индивидуальные обследования животных с использованием онлайн-сервисов на основе технологии ветеринарной телемедицины, однако отсутствие в России достаточно развитых методов оценки патологии на основе математического аппарата, используемого для современных интеллектуальных систем, не позволяет эффективно использовать эту технологию. В своем исследовании мы предприняли попытку создания интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Первый этап работы был посвящен формализации задач на основе концепции нечеткой логики.

**Материалы и методы.** Исследование проведено в Уральском государственном аграрном университете и Государственном аграрном университете Северного Зауралья в период с 2022 по 2025 гг. Для постановки диагноза «ацидоз рубца» в качестве входных переменных для нечеткой системы был определен минимальный перечень диагностических параметров (на основании анализа данных из специализированных справочников и научных публикаций). Поскольку сложность могут вызывать сочетания нескольких параметров, превышающих референтные значения, для корректного решения задачи с учетом этих условий использовался метод формализации неопределенностей — теория нечетких множеств. В качестве структуры интеллектуальной системы выбрано иерархическое построение, которое делает ее строго логичной и прозрачной для анализа. Для разработки программы использовалось открытое программное обеспечение Scilab и штатный редактор программного кода Scinotes.

**Результаты исследования.** Дано обоснование комплекса необходимых диагностических параметров, куда вошли значение *pH* содержимого рубца, жирность молока, частота пульса, частота дыхательных движений. Выполнена содержательная постановка и формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза рубца у коров. Разработана структура интеллектуальной системы иерархического типа, формализованы все переменные, включая промежуточные, в нечеткой модели интеллектуальной системы диагностирования.

**Обсуждение и заключение.** В первой части исследования мы формализовали модели всех переменных (входных, выходной и промежуточных) для решения задачи диагностирования ацидоза рубца у коров. При появлении новых параметров, напрямую связанные с ацидозом, их также можно включить в интеллектуальную систему. Во второй части исследования планируется выполнить компьютерную реализацию интеллектуальной системы оценки патологии ацидоза рубца у коров, взяв за основу полученные здесь формализованные данные.

**Ключевые слова:** корова, ацидоз рубца, патология, диагностирование, интеллектуальная система диагностирования, формализация задач, концепция нечеткой логики, теория нечетких множеств

**Для цитирования.** Побединский В.В., Побединский А.А., Иовлев Г.А. Создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Часть 1: Формализация задач. *Ветеринарная патология.* 2025;24(4):17–26. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

## Development of an Intelligent System for Diagnosing Rumen Acidosis in Cows. Part 1: Formalization of Tasks

Vladimir V. Pobedinskiy<sup>1</sup> , Andrey A. Pobedinskiy<sup>2</sup>  , Grigory A. Iovlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

 [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru)

### Abstract

**Introduction.** Improvement of the diagnostic methods for detecting bovine ruminal acidosis is a relevant problem due to the prevalence of this disease resulting in cattle murrain. The most future-oriented methods of early diagnostics of this pathology are prophylaxis campaigns or individual examinations of animals using the online services in the frame of veterinary telemedicine technologies. However, in Russia, the efficient use of these technologies is hindered by the absence of well-developed methods of assessing the pathology based on the mathematical tools integrated into the advanced intelligent systems. In our study, we attempted to create an intelligent system for diagnosing rumen acidosis in cows. The first stage of the research consisted of formalization of tasks based on the concept of fuzzy logic.

**Materials and Methods.** The study was conducted at the Ural State Agrarian University and the Northern Trans-Ural State Agricultural University from 2022 to 2025. For diagnosing rumen acidosis, a minimum list of diagnostic parameters was determined as input variables for the fuzzy system (based on the analysis of data obtained from the specialized reference books and scientific publications). Due to the possible difficulty of combining several parameters exceeding reference values, a method for representing uncertainties — fuzzy set theory — was used to correctly solve the problem in the given settings. A hierarchical structure was chosen to build the intelligent system, which makes it strictly logical and transparent for analysis. Scilab open source software with embedded text editor Scinotes were used to develop the application.

**Results.** A set of necessary diagnostic parameters including pH of rumen contents, fat content in milk, pulse rate, and respiratory rate was justified. A substantive formulation and formalization of the problem of fuzzy inference for assessing rumen acidosis pathology in cows was completed. The structure of the hierarchical-type intelligent system was developed. All variables, including intermediate ones, were formalized within the fuzzy model of the intelligent diagnostic system.

**Discussion and Conclusion.** In the first part of the study, we have established the formal models of all variables (input, output, and intermediate) for solving the task of diagnosing rumen acidosis in cows. In case of emergence of new parameters directly related to acidosis, they can also be integrated into the intelligent system. Based on the formalized data obtained at this stage of the research, in the second part of the study, it is planned to apply computer technologies to create the intelligent system for assessing rumen acidosis pathology in cows.

**Keywords:** cow, rumen acidosis, pathology, diagnostics, intelligent diagnostic system, formalization of tasks, fuzzy logic concept, fuzzy set theory

**For Citation:** Pobedinskiy VV, Pobedinskiy AA, Iovlev GA. Development of an Intelligent System for Diagnosing Rumen Acidosis in Cows. Part 1: Formalization of Tasks. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):17–26. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

**Введение.** Сохранение поголовья крупного рогатого скота (КРС) на фермах и в частных хозяйствах является важнейшей задачей российского агропромышленного комплекса. Для борьбы с инфекциями выполняется обработка пастбищ, дезинфекция стойл и другие мероприятия, однако незаразные заболевания могут никак не проявляться до того момента, пока заболевание не перейдет в тяжелую стадию. К таким патологиям относится ацидоз рубца у коров — распространенное заболевание, которое наносит огромный ущерб сельскому хозяйству. Выявить ацидоз рубца сразу довольно сложно даже ветеринарному врачу с многолетним опытом. Этой проблеме посвящен ряд исследований [1–4], где рассмотрены вопросы раннего диагностирования

ацидоза и предложены рекомендации по совершенствованию этого процесса.

Ацидоз характеризуется повышенной кислотностью pH содержимого рубца, которая появляется из-за нарушения обмена веществ, когда в рационе животного низкое содержание твердой пищи или её отсутствие. Важным условием для успешного лечения любого заболевания является точный и ранний диагноз. Ацидоз рубца у коров на начальном этапе заболевания может быть схож с атонией и гипотонией преджелудков, а при профилактике или лечении иногда может быть ошибочно принят за алкалоз. При позднем выявлении ацидоза или уже в запущенной стадии могут быть последствия, показанные на рис.1.

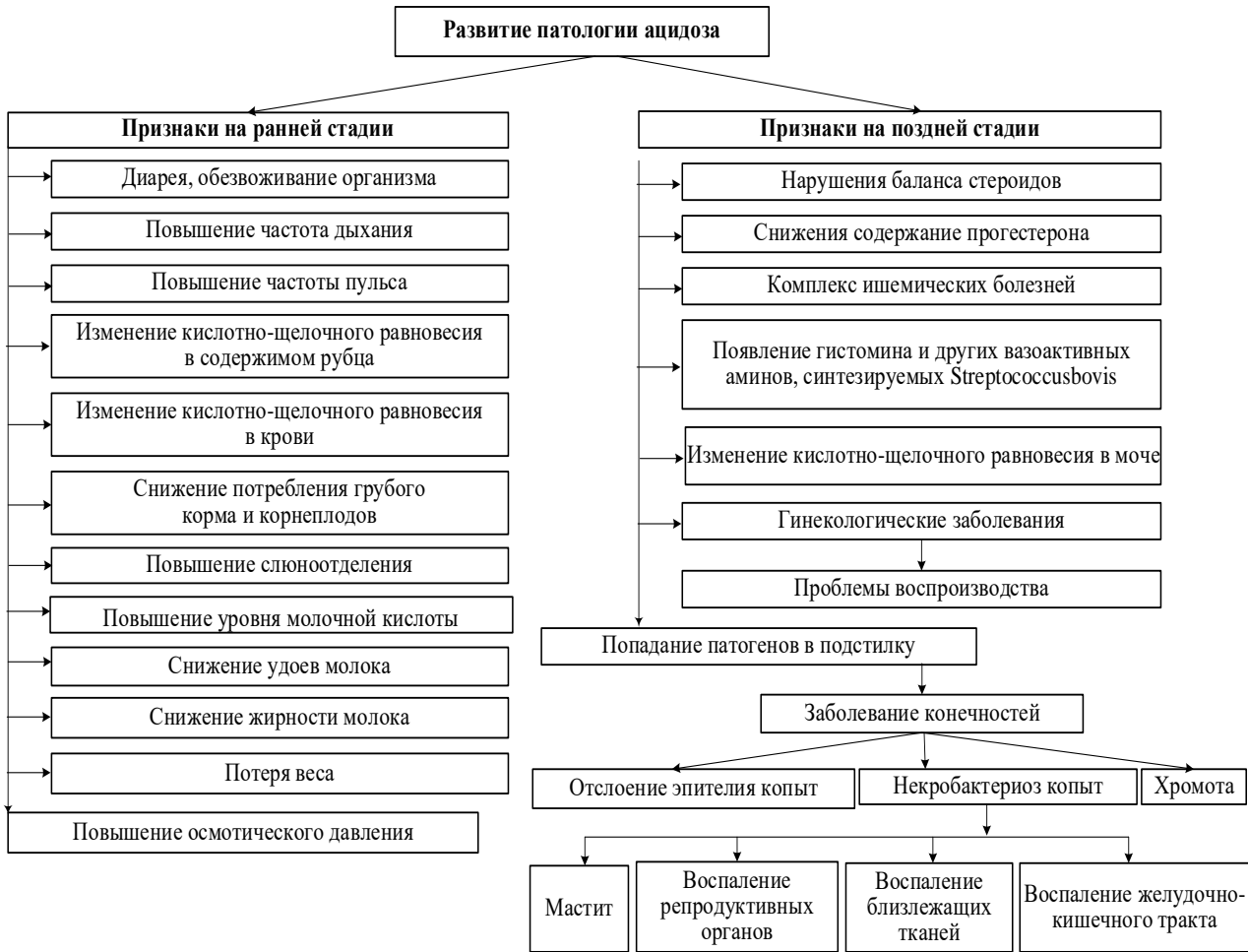


Рис. 1. Схема развития патологии ацидоза

Массовость заболевания, риск поздней или неверной постановки диагноза (из-за схожести симптоматики с другими патологиями) делает задачу совершенствования процесса диагностирования ацидоза рубца весьма актуальной. Поскольку неопределенность показателей играет существенную роль в этой задаче, представляется наиболее эффективным ее решение с использованием современных методов, учитывающих и формализующих неопределенности, — т. е. методов интеллектуальных систем. На сегодня известен опыт применения в ветеринарии таких систем. Например, в работе [2] приведены математические основы теории нечетких множеств и на языке Python решена задача с использованием метода Сугено — авторы рекомендуют использование тестов интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» без программирования для массового диагностирования и в учебном процессе. В работах [3, 4] упоминается, как искусственный интеллект обнаружил ряд ошибок ветеринарных врачей. Тем не менее отсутствие достаточно развитых методов оценки развития патологии на основе математического аппарата не позволяет эффективно использовать современные интеллектуальные системы в России.

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования, состоящего из двух частей, является создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза

рубца у коров на основе концепции нечеткой логики. В первой части мы планируем формализовать задачи диагностирования ацидоза. Для этого потребуются:

- 1) обосновать комплекс диагностических параметров;
- 2) выполнить содержательную постановку и формализацию задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза;
- 3) разработать структуру интеллектуальной системы иерархического типа;
- 4) формализовать промежуточные переменные в нечеткой модели интеллектуальной системы.

**Материалы и методы.** Исследование проведено в Уральском государственном аграрном университете (г. Екатеринбург) и Государственном аграрном университете Северного Зауралья (г. Тюмень) в период с 2022 по 2025 гг. Перечень диагностических параметров, необходимых для формализации задач, включал: значения *pH* содержимого рубца, жирность молока, частоту пульса, частоту дыхательных движений (данные взяты из специализированных справочников и научных публикаций). В исследование не включались коровы: 1) с перенесёнными заразными заболеваниями из-за возможных последствий и ослабленного иммунитета; 2) готовящиеся к отёлу (примерно за 30–40 дней); 3) недавно отелившиеся (около 30 дней) в связи с перестройкой гормонального фона и естественного восстановления *pH*.

Минимального перечня диагностических параметров вполне достаточно для точной постановки диагноза «ацидоз рубца» при отсутствии корреляции с другими заболеваниями. Особую сложность могут вызывать сочетания нескольких параметров, превышающих референтные значения, что придает параметрам задачи свойства неопределенности. Для корректного решения задачи с учетом этих условий использовался метод формализации неопределенностей — теория нечетких множеств. Иерархическое построение структуры интеллектуальной системы делает ее строго логичной и прозрачной для анализа. Для разработки программы интеллектуальной системы использовалось открытое программное обеспечение Scilab (Scilab Consortium, Франция) и штатный редактор программного кода Scinotes.

### Результаты исследования

**1. Обоснование комплекса диагностических параметров.** Предварительный диагноз «ацидоз рубца» ветеринар может поставить, наблюдая за поведением коровы и уточнив ее рацион кормления. Для ацидоза рубца характерны:

- *pH* содержимого рубца ниже 6 (в норме 6–6,9);
- *pH* крови ниже нормы 7,35;
- уровень молочной кислоты в 3–4 раза превышает норму (9–13 мг/дл);
- пульс поднимается до 120–140 уд./мин (норма 80–100 уд./мин); частота пульса повышается с увеличением кислотности;
- частота дыхания увеличивается до 50–60 дыхательных движений в минуту и достигает максимума в 70 дв./мин (в норме 18–28 движ./мин);
- корова съедает в среднем меньше 15–20 кг грубого корма и корнеплодов;
- содержание белка и жирность молока падает и становится менее 4 %;
- происходит потеря веса (средняя взрослая корова весит 300–450 кг);
- слюноотделение выше 90–180 л говорит о нарушении *pH* содержимого рубца;
- *pH* мочи ниже нормы 7,6–8,5±0,2;
- снижение количества жевательных движений до 30–40 (среднее количество жевательных движений после срыгивания у лактирующей коровы — 55, максимум до 60).

Состояние *pH* содержимого рубца играет важную роль в жизни коровы. В работе [5] показано, что при систематическом промывании рубца у лактационных коров и добавлении к основному рациону премикса микробного состава, натрия гидрокарбоната и минералов среднесуточный удой молока повысился на 31,3 %. В исследовании [6] установлена положительная статистическая значимая корреляция между температурой содержимого рубца и ректальной температурой, а это значит, что, измеряя ректальную

температуру, можно предупредить появление подострого ацидоза рубца у коров.

Авторы [7] выявили, что при ацидозе наблюдается значительное увеличение концентрации ионов натрия в эритроцитах и снижение их содержания в плазме крови, а параллельно происходит уменьшение количества ионов калия в эритроцитах и повышение их уровня в плазме: т. е. ацидоз негативно влияет на энергетический обмен, ухудшая синтез АТФ. Высказывалось также мнение [8], что для точного измерения *pH* содержимого рубца оптимальным является получение пробы путем руминоцентеза, поскольку на концентрацию водородных ионов в пробах, полученных с помощью зонда, определенное влияние оказывает слюна, что приводит к изменению *pH* в щелочную сторону в пределах 0,14 ед. (2,3 %).

Авторы [9] установили, что при ацидозе рубца у коров показатели клинического и морфологического статуса в целом стабильны, за исключением дыхательных движений, которые при заболевании выше нормы до 7 %. В результате исследования физиологии пищеварения коров [10] установлено, что снижение *pH* мочи является диагностическим методом для выявления признаков хронического ацидоза рубца, что, в свою очередь, подтверждается результатами молочной продуктивности подопытных животных.

На сегодняшний день существуют примеры успешного применения систем дистанционного мониторинга в ветеринарии [11–12], включая дистанционное исследование *pH* содержимого рубца [13]. В ходе этого исследования установлено, что *pH* содержимого рубца и температура у коров имеют суточные колебания, при этом высказывается мысль, что колебания *pH* содержимого рубца связаны с потреблением корма, а колебания температуры тела отражают объемы потребления воды животными.

В зарубежных источниках также рассматривалась проблема ацидоза рубца у коров с присущими ему условиями развития [14–15] и возможными последствиями [16–18]. Для более точной диагностики ацидоза рубца за границей использовались те же методы, что и в отечественной ветеринарии: руминоцентез и желудочное канюлирование [19] или биомаркеры [20]. Стоит отметить также авторов, которые обратили внимание на многократное увеличение молочной кислоты, появляющейся из крахмала [21–22], которая в свою очередь способствует образованию ацидоза рубца.

В контексте настоящего исследования следует отметить некоторые неопределенности в трактовке значений в разных источниках. К примеру, нормой *pH* содержимого рубца у коровы является 6, но некоторые эксперты-ветеринары утверждают, что границей является 7, а всё, что выше, относится к алкалозу, когда щелочной фон превышен. Ряд других экспертов в этой области считает, что при индексе *pH* ниже 6 кислотность рубца

повышена, но если она, к примеру, составляет 5,5 и носит кратковременный характер, то сразу ставить животному диагноз «ацидоз рубца» преждевременно. Выявляя все значения кислотно-щелочного баланса рубца у коров всех пород, можно прийти к выводу, что интервальным значением нормы будет уровень  $pH$  6–7, а всё, что ниже или выше, нужно считать отклонением от нормы. При этом значение ниже нормы будет указывать на ацидоз, а выше нормы — на алкалоз.

При правильном рационе молодая здоровая корова дает молоко высокой жирности, с возрастом жирность молока постепенно снижается. При первых проявлениях ацидоза рубца у коров показатель жирности молока резко снижается до 3–4 %, а иногда и ниже 2,5 %, т. е. минимальным значением можно принять 2,0 %. Все дело в наличии большого содержания молочной кислоты, которая снижает жирность молока.

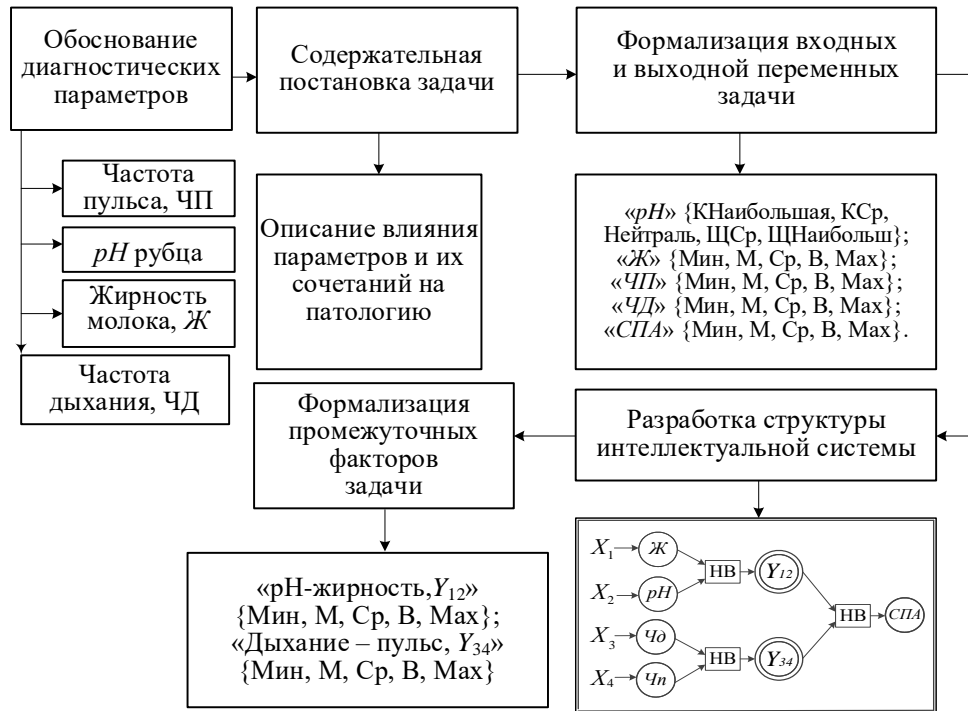


Рис. 2. Общая схема выполнения исследований

Кроме этих показателей ветеринарные врачи иногда принимают во внимание контрольный показатель  $pH$  крови. Он необходим только в случае, если  $pH$  содержимого рубца находится в норме, но при этом жирность молока резко снижена. Уровень  $pH$  содержимого рубца и  $pH$  крови взаимосвязаны, поскольку содержимое рубца может вбрасываться в кровоток животного. Значения, свидетельствующие о симптоматике ацидоза рубца, будут для  $pH$  крови в диапазоне 7,1–7,3. Но данные значения слишком близки к тем, что имеют здоровые животные, поэтому такой параметр не может быть основным и достаточным для постановки диагноза. Следовательно, предпочтение нужно отдать параметру жирности молока, который, как правило, фиксируется не менее двух раз в сутки при доении коровы.

Другими важными параметрами для выявления признаков ацидоза рубца у коров являются такие физиологические показатели, как частота дыхательных движений и пульса. Норма пульса в обычном состоянии, т. е. без активных движений животного, составляет от 80 до 100 уд./мин, тогда как при заболевании ацидозом он может повышаться до 120 уд./мин, достигая 130–140 уд./мин. Частота дыхания также будет увеличиваться по мере ухудшения состояния животного. Без нагрузки в

нормальном состоянии корова может делать от 15 до 30 дыхательных движений; при осложнениях, связанных с ацидозом, эти показатели могут достигать 50–60 и более (до 70) движ./мин.

Таким образом, можно выделить четыре показателя, однозначно коррелирующие с заболеванием ацидозом рубца:  $pH$  содержимого рубца, жирность молока, частота пульса, частота дыхательных движений. Остальные показатели с большой вероятностью могут быть следствием других заболеваний. Поэтому для разработки интеллектуальной системы диагностирования принимаем указанные четыре параметра в качестве входных переменных для нечеткой системы

## 2. Выполнение содержательной постановки и формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза

**Содержательная постановка задачи.** В нечетком моделировании содержательная постановка задачи предназначена для представления эмпирических данных об объекте в форме определенных эвристических правил: выполняется словесное описание задачи состояния объекта (в данном случае — ацидоз рубца у коровы) в зави-

симости от диагностических параметров. В содержательном описании задачи определяются наиболее специфические особенности ветеринарного диагноза.

Сведения о симптоматике ацидоза рубца у коровы, влиянии различных факторов на протекание заболевания и его взаимосвязи с диагностическими параметрами достаточно подробно приводятся в справочниках по ветеринарии<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> и научных статьях [7–10]. Однако в трактовке некоторых значений присутствует, как мы уже упоминали, некоторая неопределенность. Принцип нечеткого моделирования позволяет обобщить разрозненные экспериментальные и экспертные данные и получить более полную картину состояния животного в зависимости от сочетания параметров, на основе которых выполняется точный диагноз.

**Формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза.** Введение нечеткости в задачу (фазификация) заключается в формализации входных и выходных параметров в виде лингвистических переменных<sup>8</sup>. Напоминаем, что входными параметрами приняты: величина водородного показателя  $pH$  содержимого рубца, жирность молока, частота дыхательных движений и частота пульса. В качестве выходной величины принята степень патологии (тяжесть заболевания) животного.

Для оценки величины  $pH$  содержимого рубца в ветеринарной медицине используется терминология «Кислотность», «Щелочность». В теории нечетких множеств обозначения аналогичные: «Кислотность наибольшая» до 4  $pH$ ; «Кислотность средняя» от 4 до 6  $pH$ ; «Нейтральная среда» от 6 до 7  $pH$ ; «Щелочность средняя» от 7 до 9  $pH$ ; «Щелочность наибольшая» свыше 9 до 9,5  $pH$ .

Для второй переменной «Жирность молока,  $Ж$ » в терминах нечеткого моделирования примем значения: «Минимальная» от 2,5 до 3 %; «Малая» от 3 до 4 %; «Средняя» от 4 до 6 %; «Высокая» от 6 до 7 %; «Максимальная» от 7 %.

Третья переменная «Частота пульса,  $ЧП$ » будет иметь следующие значения: «Минимальная» до 60 уд./мин; «Малая» от 60 до 80 уд./мин; «Средняя» от 80 до 100 уд./мин; «Высокая» от 100 до 120 уд./мин; «Максимальная» от 120 до 130 уд./мин.

Четвертая переменная «Частота дыхания,  $ЧД$ » будет иметь следующие значения: «Минимальная» от 5 до 10 движ./мин; «Малая» от 10 до 15 движ./мин (симптомы заболевания алкалозом); «Средняя» от 15 до 30 движ./мин (норма); «Высокая» от 30 до 50 движ./мин; «Максимальная» от 50 до 70 движ./мин.

Для выходной величины введен показатель «Степень патологии ацидоза,  $СПА$ ». Для удобства определим этот показатель на шкале от 0 до 5 и в безразмерном виде. Переменная принимает следующие значения: «Минимальная» до 1; «Малая» от 1 до 2; «Средняя» от 2 до 3; «Высокая» от 3 до 4; «Максимальная» от 4 до 5. Градация степени патологии имеет следующее содержание:

- 1 — перманентная (животное здорово);
- 2 — субацидная (гипотония преджелудков или первые выраженные симптомы ацидоза рубца);
- 3 — хроническая (четко выраженные симптомы ацидоза с проявлениями средней тяжести);
- 4 — подострая (тяжелые проявления симптомов ацидоза);
- 5 — острая (критически тяжелая степень ацидоза).

В терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены термножествами со следующими значениями и обозначениями:

- «Водородный показатель рубца,  $pH$ » {КНаибольшая, КСр, Нейтраль, ЩСр, ЩНаибольшая};
- «Жирность,  $Ж$ » {Мин, М, Ср, В, Мах};
- «Частота пульса,  $ЧП$ » {Мин, М, Ср, В, Мах};
- «Частота дыхания,  $ЧД$ » {Мин, М, Ср, В, Мах};
- «Степень патологии ацидоза,  $СПА$ » {Мин, М, Ср, В, Мах}.

На рис. 3 (а–г) показаны функции принадлежности входных переменных в виде треугольных нечетких чисел и трапецеидальных интервалов, а на рис. 2д приведена нечеткая функция выходной лингвистической переменной «Степень патологии ацидоза,  $СПА$ ». Примем для термножеств значений лингвистических переменных треугольные или трапецеидальные нечеткие числа, а на границах области определения  $z$ -образные и  $s$ -образные функции (рис. 3).

**3. Разработка структуры интеллектуальной системы иерархического типа.** Определим структуру системы в виде нечеткой системы иерархического типа<sup>9</sup>. Вначале выполняется нечеткий вывод от двух параметров — значения  $pH$  содержимого рубца и жирности молока  $Ж$ . Результирующую функцию этого нечеткого вывода от первых двух переменных обозначим фактором « $pH$ –жирность,  $Y_{12}$ ».

Затем в машину нечеткого вывода (НВ) подаются входные переменные «Частота дыхания,  $ЧД$ » и «Частота пульса,  $ЧП$ ». Назовем результирующую функцию этого нечеткого вывода как фактор «Дыхание–пульс,  $Y_{34}$ ». По значениям переменных факторов  $Y_{12}$  и  $Y_{34}$  после выполнения нечеткого вывода рассчитывается значение

<sup>1</sup> Бутьянов Д.Д., Карпуть И.М., Якубовский М.В. *Справочник по болезням сельскохозяйственных животных*. Минск: Урожай; 1990. 352 с.

<sup>2</sup> Андросов Ф.З., Беляев И.Я., Ключко Р.Т. *Справочник ветеринарного лаборанта*. Москва: Колос; 1981. 248 с.

<sup>3</sup> Алтухов Н.М., Афанасьев В.И., Башкиров Б.А. *Справочник ветеринарного врача*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос; 1996. 623 с.

<sup>4</sup> Андреев Г.М., Баранцев И.Д., Воробьев Е.О. *Справочник ветеринарного фельдиера*. Ленинград: Агропромиздат. Ленинградское отделение; 1988. 479 с.

<sup>5</sup> Кузнецов А.Ф. (ред.). *Справочник по ветеринарной медицине*. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2004. 912 с.

<sup>6</sup> Щербаков Г.Г., Данилевская Н.В., Старченков С.В., Ковалев С.П., Коробов А.В., Гарнуев Ю.А. и др. *Справочник ветеринарного терапевта: учебное пособие*. 5-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2009. 656 с.

<sup>7</sup> Линёва А. *Физиологические показатели нормы животных*. Справочник. Москва: «Акварнум-Принт». 2008. 256 с.

<sup>8</sup> Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables*. Heidelberg, New York: Physica-Verlag, 2001. P. 760.

<sup>9</sup> Штовба С.Д. *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB*. М.: Горячая линия. Телеком, 2007. 288 с.

«Степени патологии acidоза, СПА». В графическом виде эта структура модели показана на рис. 4.

**4. Формализация промежуточных переменных в нечеткой модели интеллектуальной системы.** Поскольку в структуре модели присутствуют промежу-

точные переменные, их тоже необходимо привести к нечеткости. Для удобства определим лингвистические переменные в диапазоне от 0 до 5 и разделим на 5 интервалов для пяти нечетких функций принадлежности. В графическом виде переменные приведены на рис. 5.

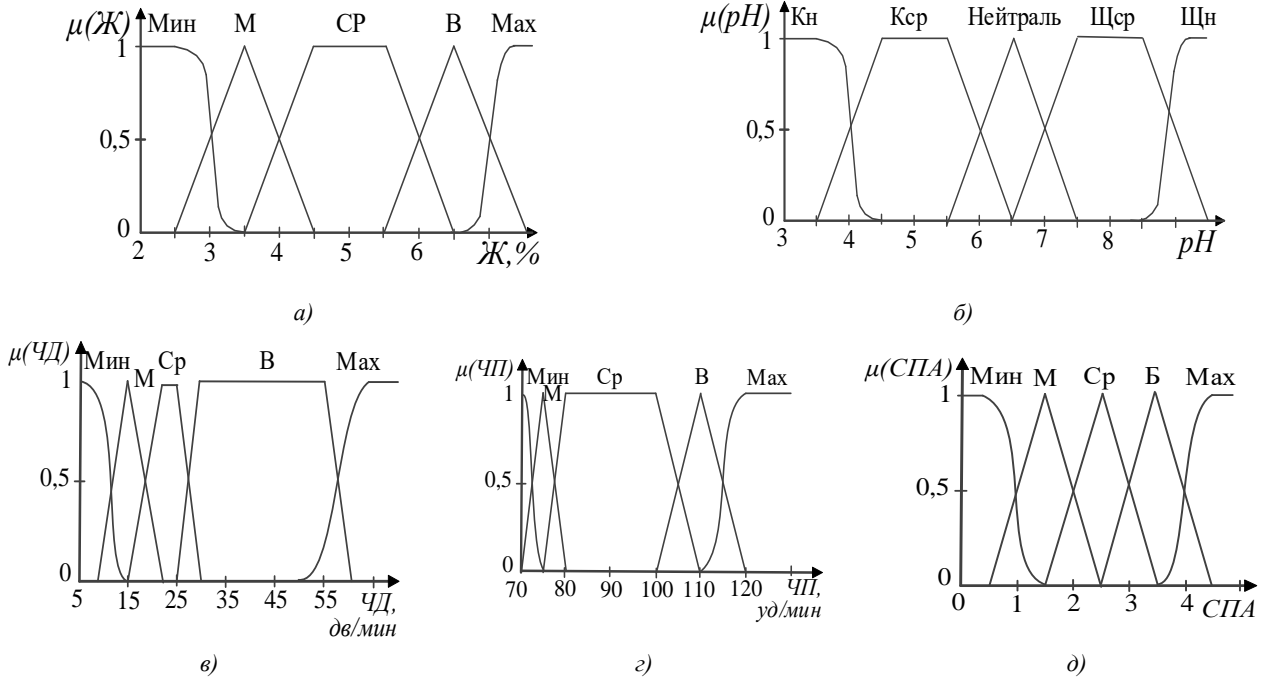


Рис. 3. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных: а — «Жирность, Ж»; б — «Водородный показатель рубца, pH»; в — «Частота дыхания, ЧД»; г — «Частота пульса, ЧП»; д — «Степень патологии acidоза, СПА»

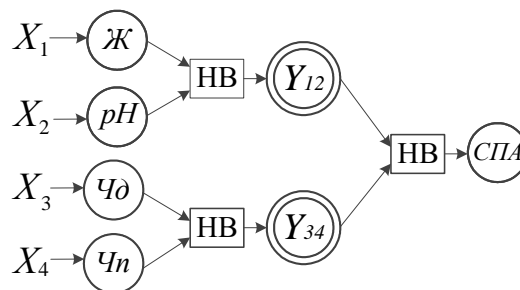


Рис. 4. Структура интеллектуальной системы иерархического типа для оценки патологии acidоза рубца:  $X_1$ – $X_4$  — входные параметры модели; НВ — машина нечеткого вывода;  $Y_{12}$  — фактор «pH–жирность»;  $Y_{34}$  — фактор «Дыхание–пульс»; СПА — степень патологии acidоза

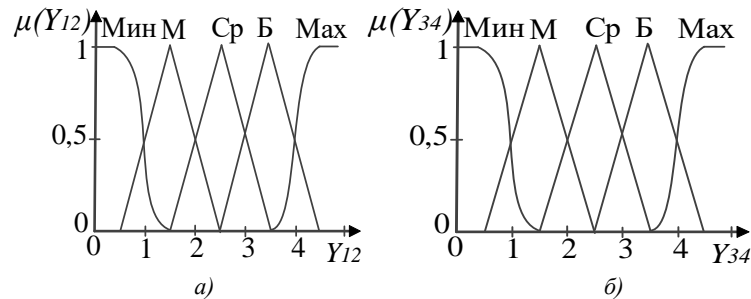


Рис. 5. Нечеткие функции принадлежности промежуточных лингвистических переменных: а — фактор «pH–жирность,  $Y_{12}$ »; б — фактор «Дыхание–пульс,  $Y_{34}$ »

Выполненная формализация всех необходимых задач позволяет разработать модель соответствующей интеллектуальной системы и реализовать ее в программном коде.

**Обсуждение и заключение.** В настоящее время внедрение интеллектуальных систем является приоритетным направлением развития высокотехнологичной ветеринарной помощи. В первой части исследования мы обосновали перечень необходимых для диагности-

рования ацидоза рубца у коров параметров, предложили структуру интеллектуальной системы и формализовали модели всех переменных для решения задачи с помощью теории нечетких множеств и ее практических приложений — нечеткой логики, нечеткого моделирования. На втором этапе работы мы планируем выполнить компьютерную реализацию интеллектуальной системы оценки патологии ацидоза рубца у коров, взяв за основу описанные здесь формализованные данные.

### Список литературы/References

1. Сафарова Л.У. *Нечетко-логические алгоритмы диагностирования болезней крупного рогатого скота*. Монография. Ташкент: Fanziyosi; 2023. 108 с.  
Safarova LU. *Fuzzy-Logic Algorithms for Diagnosing Cattle Diseases*. Monograph. Tashkent: Fanziyosi; 2023. 108 p. (In Russ.)
2. Луценко Е.В., Коржаков В.Е. Реализация тестов и супертестов для ветеринарной и медицинской диагностики в среде системы искусственного интеллекта «Эйдос-X++» без программирования. *Научный журнал КубГАУ*. 2013;89(05):99–140.  
Lutsenko EV, Korzhakov VE. Realization of Tests and Supertests for Veterinary and Medical Diagnostics in the Eidos-X++ System of Artificial Intelligence without Programming. *Scientific Journal of KubSAU*. 2013;89(05):99–140. (In Russ.)
3. Лакомкин В. *Российское исследование: развитие искусственного интеллекта в ветеринарной медицине*. URL: <https://www.ferra.ru/review/techlife/veterinar.htm> (дата обращения 24.11.2025).  
Lakomkin V. *Russian Study: Development of Artificial Intelligence in Veterinary Medicine*. (In Russ.) URL: <https://www.ferra.ru/review/techlife/veterinar.htm> (accessed 24.11.2025).
4. Медведева А. *Искусственный интеллект подключился к борьбе с ранними симптомами болезней крупного рогатого скота*. URL: <https://www.agroxxi.ru/zhivotnovodstvo/tehnologi/iskusstvennyi-intellekt-podklyuchilsja-k-borbe-s-mastitom-u-korov.html> (дата обращения 24.11.2025).  
Medvedeva A. *Artificial Intelligence Joins the Fight against Early Symptoms of Cattle Diseases*. (In Russ.) URL: <https://www.agroxxi.ru/zhivotnovodstvo/tehnologi/iskusstvennyi-intellekt-podklyuchilsja-k-borbe-s-mastitom-u-korov.html> (accessed 24.11.2025).
5. Бакиров Б., Рузикулов Н.Б., Хайитов Б., Абдурасулов А.Х. Групповая профилактика ацидоза рубца у коров. *Вестник ОШГУ. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023;(4(5)):50–56. [https://doi.org/10.52754/16948696\\_2023\\_4\\_7](https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_7)  
Bakirov B, Ruzikulov NB, Khaitov B, Abdurasulov AKh. Group Prevention of Rumen Acidosis in Cows. *Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zootechnics*. 2023;(4(5)):50–56. (In Russ.) [https://doi.org/10.52754/16948696\\_2023\\_4\\_7](https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_7)
6. Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е. Диагностика подострого ацидоза рубца у коров в послепартумный период с помощью цифровых технологий. *Главный зоотехник*. 2020;(12(209)):47–52.  
Pavkin DYU, Vladimirov FE. Diagnosis of Subacute Rumen Acidosis in Cows in the Postpartum Period when Using Digital Technologies. *Head of Animal Breeding*. 2020;(12(209)):47–52. (In Russ.)
7. Рыжкова Г.Ф., Евглевский А.А., Евглевская Е.П., Миненков Н.А. Перераспределение электролитов между эритроцитами и плазмой крови коров при нарушении кислотно-щелочного равновесия (ацидоз рубца). *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(4):136–139.  
Ryzhkova GF, Evglevsky AA, Evglevskaya EP, Minenkov NA. The Redistribution of Electrolytes between the Erythrocytes and Plasma of Cows Blood at the Violation of Acid-Base Balance (Acidosis of the Rumen). *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii (Bulletin of Kursk State Agricultural Academy)*. 2018;(4):136–139. (In Russ.)
8. Воронов Д.В., Бобер Ю. Н. Показатели pH содержимого рубца у коров, больных ацидозом, при различных способах получения пробы. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины»*. 2017;53(3):18–21.  
Voronov DV, Bober YuN. Indicators pH of the Content of Rumen in the Cows, Patients with Acidosis, with Different Methods of Obtaining the Sample. *Scientific Notes of the Vitebsk State Awarded with the Badge of Honor Academy of Veterinary Medicine*. 2017; 53(3):18–21. (In Russ.)
9. Эленшлегер А.А., Соловьева В.В. Клинико-морфологические показатели крови при ацидозе рубца у молочных коров. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016;(6(140)):112–115.  
Elenshleger AA, Solovyeva VV. Clinical and Morphological Blood Parameters in Rumen Acidosis in Dairy Cows. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;(6(140)):112–115. (In Russ.)

10. Луговой М.М., Азарнова Т.О., Подольников В.Е., Луговая И.С. Значимость поддержания водородного показателя в организме коров для профилактики метаболических нарушений и повышения молочной продуктивности. *Аграрная Россия*. 2019;(12):3–7. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-12-3-7>
- Lugovoi MM, Azarnova TO, Podolnikov VE, Lugovaya IS. Importance of Maintaining a Hydrogen Index in the Cows for Prevention of Metabolic Disorders and for an Increase in Milk Productivity. *Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia)*. 2019;(12):3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-12-3-7>
11. Побединский А.А. Побединский В.В. Способ мониторинга пчелиных ульев и популяций пчёл. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023;(6(104)):198–204.
- Pobedinsky AA, Pobedinsky VV. A Method for Monitoring Bee Hives and Bee Populations. *Izvestia Orenburg State Agrarian University (Bulletin of the Orenburg State Agrarian University)*. 2023;(6(104)):198–204. (In Russ.)
12. Побединский А.А. Дистанционный мониторинг определения продуктивности кур-несушек в частном хозяйстве. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022;(1(93)):127–130. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-127-130>
- Pobedinsky AA. Remote Monitoring Determining Productivity Laying Hens in a Private Household. *Izvestia Orenburg State Agrarian University (Bulletin of the Orenburg State Agrarian University)*. 2022;(1(93)):127–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-127-130>
13. Владимиров В.Е. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Исследование pH и температуры рубца для диагностики ацидоза у дойных коров после отела. *Вестник ВНИИМЖ*. 2019;(4(36)):196–199.
- Vladimirov VE, Kirsanov VV, Pavkin DYU. Study of the Rumen's pH and Temperature for Milk Cows after Calving Acidosis Diagnosis. *Vestnik vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhitovnovodstva (Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Husbandry Mechanization)*. 2019;(4(36)):196–199. (In Russ.)
14. Chen L, Liu Sh, Wang H, Wang M, Lihuai Yu. Relative Significances of pH and Substrate Starch Level to Roles of Streptococcus Bovis S1 in Rumen Acidosis. *AMB Express*. 2016;6(1):80. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0248-2>
15. Millen DD, De Arrigoni MB, Pacheco RDL (Eds). *Rumenology*. Cham: Springer; 2016. 314 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30533-2>
16. Asqarov SS, Yunusov XB, Ro'ziqulov N.B. Qo'zilar Dispepsiyasining Klinik Belgilari va Ularning Etiopatogenetik Asoslari. *Veterinariya meditsinasi*. 2023; P. 18–19.
17. Smith BP, Van Metre DC, Pusterla N (Eds). *Large Animal Internal Medicine. 6<sup>th</sup> Edition*. USA: Elsevier; 2020. 1874. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01788-6>
18. McSweeney CS, Mackie RI (Eds). *Improving Rumen Function: Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing; 2020. 862 p.
19. AlZahal O, Kebreab E, France J, Froetschel M, McBride BW. Rumenal Temperature May Aid in the Detection of Subacute Rumenal Acidosis. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(1):202–207. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0535>
20. Antanaitis R, Juozaitiene V, Malasauskiene D, Televicius M., Urbutis M. Biomarkers from Automatic Milking System as an Indicator of Subclinical Acidosis and Subclinical Ketosis in Fresh Dairy Cows. *Polish Journal of Veterinary Science*. 2019;22(4):685–693. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2019.129981>
21. Abarghuei MJ, Rouzbehan Y, Salem AZM, Zamiri MJ. Nutrient Digestion, Rumenal Fermentation and Performance of Dairy Cows Fed Pomegranate Peel Extract. *Livestock Science*. 2013;157(2–3):452–461.
22. Chen L., Luo Y., Wang H., Liu S, Shen Y, Wang M. Effects of Glucose and Starch on Lactate Production by Newly Isolated Streptococcus Bovis S1 from Saanen Goats. *Applied and Environmental Microbiology*. 2016;82(19):5982–5989.

**Об авторах:**

**Владимир Викторович Побединский**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления в технических системах и инновационных технологий Уральского государственного лесотехнического университета (620100, Российская Федерация, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37); профессор кафедры сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК Уральского государственного аграрного университета (620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, стр. 42), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru)

**Андрей Анатольевич Побединский**, доцент кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики Аграрного института Тюменского государственного университета (625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Рошинское шоссе, 18), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru)

**Григорий Александрович Иовлев**, кандидат экономических наук, заведующий кафедрой сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК Уральского государственного аграрного университета (620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, стр. 42), [SPIN-код](#), [Scopus ID](#), [gri-iovlev@yandex.ru](mailto:gri-iovlev@yandex.ru)

***Заявленный вклад авторов:***

**В.В. Побединский:** научное руководство, формирование основной концепции, цели и задач исследования, подготовка текста, формирование выводов, разработка интеллектуальной системы.

**А.А. Побединский:** подготовка данных для интеллектуальной системы, анализ результатов исследований, корректировка выводов.

**Г.А. Иовлев:** помощь в доработке текста.

***Конфликт интересов:*** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

***About the Authors:***

**Vladimir V. Pobedinskiy**, Professor, Dr.Sci. (Engineering), Head of the Management in Technical Systems and Innovative Technologies Department, Ural State Forest Engineering University (37, Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation); Professor of the Service of Transport and Technological Machines and Equipment for the Agro-Industrial Complex Department, Ural State Agrarian University (42, Karla Liebknehta St., Ekaterinburg, 620000, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru)

**Andrey A. Pobedinskiy**, Associate Professor of the Forestry, Woodworking and Applied Mechanics Department, Agrarian Institute of Tyumen State University (18, Roshchinskoye Shosse, Tyumen, 625003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [vm993711@mail.ru](mailto:vm993711@mail.ru)

**Grigory A. Iovlev**, Cand.Sci. (Economics), Head of the Service of Transport and Technological Machines and Equipment for Agro-Industrial Complex Department, Ural State Agrarian University (42, Karla Liebknehta St., Ekaterinburg, 620000, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Scopus ID](#), [gri-iovlev@yandex.ru](mailto:gri-iovlev@yandex.ru)

***Claimed Contributorship:***

**VV Pobedinskiy:** scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the research, preparing the text, formulating conclusions, developing the intelligent system.

**AA Pobedinskiy:** preparing data for the intelligent system, analysing research results, adjusting conclusions.

**GA Iovlev:** assistance in finalizing the text.

***Conflict of Interest Statement:*** the authors declare no conflict of interest.

***All authors have read and approved the final manuscript.***

**Поступила в редакцию / Received** 10.11.2025

**Поступила после рецензирования / Reviewed** 05.12.2025

**Принята к публикации / Accepted** 11.12.2025