

sustainable-packaging-pr/ (дата обращения: 15.09.2025) – Текст : электронный.

6. О перечне видов продукции (товаров), производство которой осуществляется с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в ее составе от 28 августа 2024 - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1307109426> (дата обращения: 18.09.2025) – Текст : электронный.

7. Способ переработки Eva : патент US20140066530A1 / Сяо Шэнь, Суй-Цзе Дж. Ю. – Оpubл. 06.03.2014.

8. Матвеев, К. С. Структура и методы рециклинга отходов обувных предприятий/ К. С. Матвеев, Е. А. Ковальчук, А. К. Новиков // «Энергоэффективность и ресурсосбережение»: материалы Белорусско-германский семинара, Минск, 2013 / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2013. – С. 27–29.

УДК 675.6

Анализ параметров обезжиривания меха с применением препарата «Карделин УН» на основе моделей машинного обучения

**Лутфуллина Г. Г., д.т.н.,
Люлинская Я. Л., асп.**

Казанский национальный
исследовательский
технологический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Реферат. Целью данного исследования являлся комплексный анализ и установление количественных взаимосвязей между ключевыми параметрами технологического процесса эмульсионного обезжиривания волосяного покрова шубной овчины и эффективностью применения мощного препарата «Карделин УН». Использование этого препарата является технологически обоснованным, поскольку его многокомпонентный состав включает поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы: анионные, неионогенные и катионные, а также органический растворитель. Синергетический эффект от такого сочетания компонентов обеспечивает высокое качество проведения подготовительных процессов обработки мехового сырья. Экспериментально доказано, что «Карделин УН» обладает комплексом ценных функциональных свойств: выраженным смачивающим, эффективным обезжиривающим, стабилизирующим пенообразование и бактерицидным действием. Выбраны ключевые признаки: концентрация «Карделин УН», температура рабочих растворов и продолжительность процесса обезжиривания, а также целевая переменная – содержание несвязанных

жировых веществ в волосяном покрове меха. Были обучены шесть моделей регрессии, включая классические и ансамблевые методы. Оценка качества предсказаний проведена по метрикам средней квадратичной ошибки (MSE) и коэффициенту детерминации (R^2). Результаты показали существенное превосходство ансамблевых методов, особенно градиентного бустинга, который обеспечил минимальную ошибку и высокую точность. Исследование также выявило, что использование только одного признака (в данном случае концентрации «Карделин УН») снижает качество модели, подчеркивая важность комплексного учета всех параметров технологического процесса для точного прогнозирования. Визуализация подтверждает, что модель, основанная на всех признаках, лучше отражает вариации данных.

Ключевые слова: кожевенное производство, меховое производство, моющий препарат «Карделин УН», модели машинного обучения, среднеквадратичная ошибка, коэффициент детерминации.

Введение

Анализ современного состояния кожевенной и меховой промышленности Российской Федерации позволяет выявить ряд устойчивых диспропорций. С одной стороны, на внутреннем рынке наблюдается стабильный платежеспособный спрос на продукцию отечественного производства. С другой стороны, производственный сектор отрасли демонстрирует низкую рентабельность, что связано с зависимостью от импорта сырья, химических материалов и оборудования, высокой долей затрат на энергоносители и логистику, а также моральным и физическим износом основных фондов. Все вышеперечисленное обуславливает необходимость постоянного совершенствования технологий производства с целью повышения качества изделий и снижения себестоимости [1, 2]. Технология обработки шкур животных представляет собой сложный многокомпонентный процесс, включающий химические, физико-химические и механические этапы, направленные на получение полуфабрикатов с заданными физико-механическими и потребительскими свойствами [3]. Важнейшее значение в этих процессах имеют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые обеспечивают эффективное удаление загрязнений, улучшение смачивания, эмульгирование и защиту материалов [4, 5].

В подготовительных процессах обработки кожи и меха ПАВ играют ключевую роль, направленную на расщепление белково-углеводных комплексов и извлечение из сырья растворимых белков и особенно жиров. Эффективное удаление жиров с поверхности ко-

жевенного и мехового сырья является необходимым этапом, напрямую влияющим на качество готового полуфабриката и соответствие продукции требованиям нормативных документов (ГОСТов) [6]. ПАВ выступают основным инструментом для обеспечения контролируемого и эффективного обезжиривания, так как способны снижать поверхностное натяжение и улучшать смачивание, способствуя удалению жировых загрязнений до заданного уровня, установленного ГОСТами на кожевенное и меховое сырье [7–9]. Соблюдение этих требований обеспечивает не только повышение физико-механических характеристик кожи и меха, но и оптимизирует технологический процесс, снижая расход химических материалов и экономя ресурсы производства.

В ранее проведенных исследованиях [10–14] разработан универсальный моющий препарат «Карделин УН», предназначенный для применения на подготовительных стадиях производства кожи из шкур овчин, кожи для верха обуви из шкур крупного рогатого скота, меховой и шубной овчины, а также шкурок лисы в условиях полупроизводства и промышленного производства. Показано, что «Карделин УН» эффективно смачивает кожевенное сырье и обеспечивает необходимый уровень влагосодержания за счет синергичного действия поверхностно-активных веществ различных типов и растворителя.

В работе [15] представлена таблица, в которой показаны экспериментальные данные по продолжительности обработки в минутах, содержанию жира в волосяном покрове (ВП) в % и концентрации моющего препарата «Карделин УН» в г/см³. Для анализа экспериментальных данных целесообразно использовать модели машинного обучения, которые позволят выявить сложные нелинейные связи между параметрами процесса (продолжительность обработки, концентрация «Карделина УН») и качеством обработки (содержание жира в ВП), что недостижимо простыми экспериментальными методами. Таким образом, целью данной работы стало построение моделей машинного обучения для исследования взаимосвязи параметров технологического процесса и качества обработки ВП на основе экспериментальных данных.

Результаты и их обсуждение

Для достижения поставленной цели на первом этапе были импортированы следующие библиотеки:

- pandas (для удобной обработки и анализа табличных данных);
- seaborn и matplotlib.pyplot (для визуализации данных и построения графиков);
- train_test_split (для разделения данных на обучающую и тестовую выборки);
- StandardScaler (для стандартизации и масштабирования признаков);
- mean_squared_error и r2_score (для оценки качества построенных моделей с помощью метрик средней квадратичной ошибки и коэффициента детерминации).

Загрузили исходные данные в среду Python, выполнили предобработку данных, устранив все пропуски и некорректные записи.

Далее выделили независимые переменные для моделей машинного обучения. В данном случае в качестве признаков выбрали три важнейших параметра, имеющих существенное влияние на результат: концентрация препарата «Карделин УН», температура про-

цесса (в °C) и продолжительность выдержки (в минутах). В качестве целевой переменной (прогнозируемой) выбрали содержание жира в ВП, выраженное в процентах.

Исходные данные разделили на две выборки: тренировочную и тестовую. При этом тестовая выборка составила 20 % от всего объема данных, что позволило использовать оставшиеся 80 % для обучения моделей.

После подготовки выборок для обучения и тестирования обучили шесть различных моделей машинного обучения:

- 1) линейная регрессия – классический метод для описания линейной зависимости;
- 2) лассо-регрессия – разновидность линейной регрессии с L1-регуляризацией, которая уменьшает коэффициенты некоторых признаков до нуля, обеспечивая отбор наиболее значимых факторов;
- 3) случайный лес – ансамблевый метод, использующий множество деревьев;
- 4) градиентный бустинг – ансамблевый метод, который последовательно строит ансамбль слабых моделей (деревьев решений), где каждая следующая модель корректирует ошибки предыдущих;
- 5) регрессия опорных векторов (SVR) – метод, последовательно обучающий слабые модели для минимизации ошибки;
- 6) метод k-ближайших соседей (KNN) – базовый ненаправленный метод, который делает прогноз на основе значений ближайших соседей в пространстве признаков.

Каждая из моделей была обучена на тренировочных данных с последующей оценкой качества на тестовых примерах с использованием стандартных регрессионных метрик: среднеквадратичной ошибкой и коэффициентом детерминации. Среднеквадратичная ошибка (MSE) – это метрика, которая показывает средний размер ошибок между прогнозируемыми и фактическими значениями модели, при этом большие ошибки учитываются сильнее за счет возведения в квадрат (1). Чем меньше MSE, тем точнее модель.

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2 \quad (1)$$

где n – число наблюдений, x_i – фактическое значение, X_i – прогнозируемое значение.

Коэффициент детерминации (R^2) – показатель, характеризующий качество эмпирической регрессионной функции (её соответствия наблюдаемым данным). Значение R^2 близкое к 1 означает хорошее качество прогноза, а близкое к 0 – плохое соответствие модели данным.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2)$$

где \bar{X}_i – среднее значение по всем X_i .

Оценка эффективности различных моделей регрессии для задачи прогнозирования содержания жира в ВП при обработке препаратом «Карделин УН» представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение моделей машинного обучения с использованием метрик (среднеквадратичной ошибки и коэффициента детерминации)

Модель	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²
Линейная регрессия	1,843	0,079
Лассо-регрессия	2,095	-0,047
Случайный лес	0,197	0,902
Градиентный бустинг	0,110	0,945
Регрессия опорных векторов	0,274	0,863
К-ближайших соседей	0,633	0,684

Классические линейные модели, включая линейную регрессию и лассо-регрессию, показали достаточно высокие значения среднеквадратичной ошибки и низкие значения коэффициента детерминации, что свидетельствует о недостаточной адекватности линейного предположения для описания сложных зависимостей в данных. Это указывает на необходимость применения более сложных моделей.

Ансамблевые методы, такие как случайный лес и градиентный бустинг, продемонстрировали существенно лучшие показатели. Особенно выделяется градиентный бустинг, который показал наименьшую среднеквадратичную ошибку и максимальное значение *R*², что подтверждает его высокую эффективность в построении точных моделей за счет комбинации множества слабых моделей и корректировки ошибок предыдущих этапов. Также достойные результаты показала регрессия опорных векторов, обладающая способностью моделировать нелинейные зависимости и устойчивая к выбросам, однако уступающая ансамблевым методам по точности. Метод *k*-ближайших соседей проявил наименее качественные результаты, что, возможно, связано с высокой чувствительностью к выбору расстояния и параметра *k*.

Таким образом, анализ подтверждает, что для решения поставленной задачи регрессии оптимальным выбором являются ансамблевые методы, обеспечивающие баланс между точностью предсказаний и устойчивостью модели.

На следующем этапе исследования построили зависимость содержания жира ВП от концентрации «Карделин УН» с использованием модели градиентного бустинга. Для этого сначала был проведен эксперимент, в ходе которого использовался только один признак – концентрация «Карделин УН», без учета дополнительных параметров, таких как температура и продолжительности обработки. Результаты показали значительное снижение качества модели: среднеквадратичная ошибка увеличилась до 2,062, а коэффициент детерминации принял отрицательное значение -0,031.

Такое ухудшение метрик свидетельствует о том, что одной концентрации недостаточно для точного описания зависимости содержания жира, и для достоверного прогнозирования необходимо учитывать все параметры технологического процесса (рис. 1).

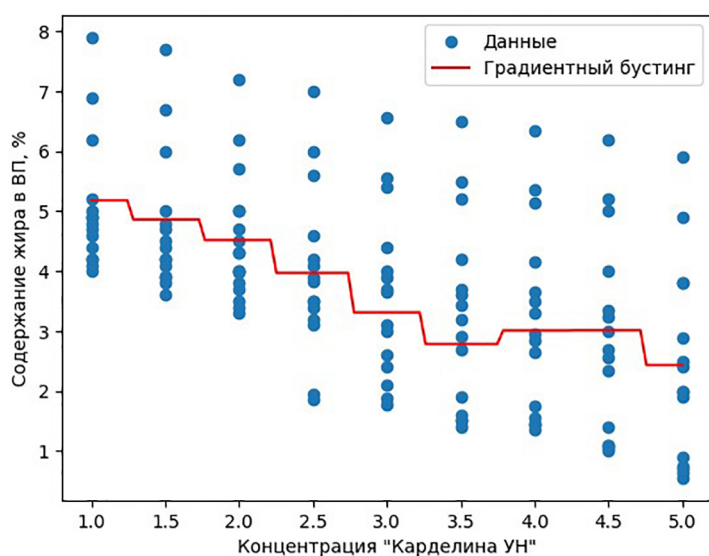


Рисунок 1 – Зависимость содержания жира от концентрации препарата «Карделин УН»

Красная линия на рисунке служит для сравнения фактических данных (точек) с предсказаниями модели, позволяя визуально оценить качество аппроксимации и выявить области хорошего или плохого согласования. Графическая визуализация взаимосвязи содержания жира с концентрацией «Карделин УН» и предсказаний модели (рис. 1) также подтвердила, что при использовании только одного признака модель не может адекватно отражать вариации в данных.

Вывод

Таким образом, в ходе исследования построили и сравнили модели машинного обучения для прогнозирования содержания жира в волосяном покрове на основе параметров технологического процесса. Проведенный анализ показал, что классические линейные модели недостаточно эффективно отражают сложные зависимости в данных, тогда как ансамблевые методы, особенно градиентный бустинг, обеспечивают значительно более высокую точность и устойчивость предсказаний. Помимо комплексного учета всех ключевых параметров процесса, таких как концентрация, температура и продолжительность обработки, важным оказалось использование многомерного подхода к выбору признаков, поскольку ограничение только одним параметром существенно снижало качество модели.

Список используемых источников

1. Раднаева, В. Д. Теоретические и практические основы интенсификации технологических процессов кожевенного производства: диссертация доктора технических наук : специальность 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий» / Раднаева Вера Дашиевна. – Казань, 2017. – 442 л.
2. Тумурова, Т. Б. Разработка технологии рециклизации некондиционного кожевенного сырья для получения биополимера : автореферат диссертации кандидата технических наук : специальность 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий»/ Туяна Булатовна Тумурова. – Улан-Удэ, 2022. – 18 с.
3. Способ обработки шкур крупного рогатого скота с использованием современных технологий: пат. № RU2795059C1 / М. С. Алиев, А. В. Назаров, Д. А. Богачёв; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский

институт «Профессиональные биотехнологии». – Заявл. 25.05.2022. – Оpubл. 28.04.2023.

4. Неудачина, Л. К. Применение поверхностно-активных веществ в анализе / Л. К. Неудачина, Ю. С. Петрова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 76 с.

5. Волков, В. А. Поверхностно-активные вещества. Синтез и свойства. Часть 1. Синтез и свойства поверхностно-активных веществ : электронная книга / В. А. Волков. – 2017. – 76 с.

6. Бегалиев, Х. Х., Улугмуратов, Ж. Ф. Применение композиций поверхностно – активных веществ для обезжиривания шкур страуса // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2020. 10(79). – URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/10840> (дата обращения: 17.09.2025).

7. ГОСТ 3123-78 Производство кожевенное. Термины и определения : государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утверждён и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 10.05.1978 г. № 1256 : дата введения 01.07.1979. – М. : Стандартиформ, 1978. – 15 с.

8. ГОСТ 28425-90 Сырье кожевенное. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утверждён и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартом от 11.01.1990 г. № 30 : дата введения 01.01.1991. – М. : Стандартиформ, 1990. – 20 с.

9. ГОСТ 7.22-2003 Промышленные каталоги. Общие требования : межгосударственный стандарт : издание официальное : утверждён и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 29.05.2003 г. № 167. – Взамен ГОСТ 7.22-80 ; введ. РБ 01.07.04. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 3 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).

10. Применение «Карделин УН» в производстве лисы красной / Лутфуллина Г. Г., Наумова Ю. Г. // *Вестник казанского технологического университета.* – 2010. – № 11. – С. 575–576.

11. Анализ влияния разработанных составов ПАВ на обезжиривание меховой овчины / Хайдарова Л. М., Лутфуллина Г. Г., Абдуллин И. Ш. // *Вестник казанского технологического университета.* – 2010. – № 11. – С. 605–606.

12. Подготовительные процессы обработки австралийской овчины с применением мощных композиций разработанных ПАВ / Абдуллин И. Ш., Хайдарова Л. М., Лутфуллина Г. Г. // *Вестник казанского технологического университета.* – 2010. – № 11. – С. 607–608.

13. Оценка свойств кожевенного сырья, обработанного поверхностно-активными веществами на стадиях подготовительных процессов / Хайдарова Л. М., Лутфуллина Г. Г., Абдуллин И. Ш., Журавлев Б. Л. // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности.* – 2011. – № 3. – С. 8–10.

14. Способ обработки кожевенного сырья: пат. № 2459873 / Г. Г. Лутфуллина, И. Ш. Абдуллин, Л. М. Хайдарова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «КНИТУ». – Заявл. 18.11.2010. – Оpubл. 27.08.2012.

15. Лутфуллина, Г. Г. Энергоресурсосберегающие технологии получения кожевенного и

мехового полуфабриката с применением разработанных аминокислотсодержащих ПАВ и плазменной обработки: диссертация доктора технических наук : специальность 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий»/ Лутфуллина Гульназ Гусмановна. – Казань, 2012. – 439 л.

УДК 677.08

Анализ морфологии и фракционного состава отходов льнопрядильного производства для армирующего слоя в биокompозитах

**Иванова В. В., асп.,
Скобова Н. В., к.т.н., доц.,
Ясинская Н. Н., д.т.н., доц.**

Витебский государственный
технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В работе представлен анализ морфологии и фракционного состава трех видов отходов льнопрядильного производства (вытряски № 6, № 7 а и № 7 б) с целью оценки потенциала их применения в качестве армирующего наполнителя в биокompозиционных материалах. Установлены количественные доли тонкого и технического волокна, сора (костры и пыли) в каждом виде отходов. Показано, что вытряска № 6, обладающая максимальным содержанием волокнистой фракции и минимальным содержанием сора, является наиболее предпочтительным сырьем для создания гибких биокompозитов. Вытряски № 7 а и 7 б, характеризующиеся высоким содержанием примесей, требуют дополнительной очистки.

Ключевые слова: вытряска, биокompозиты, армирующий слой, отходы льнопроизводства, фракционный состав, морфология, льноволокно.

Растущий интерес к созданию экологически безопасных и биоразлагаемых материалов стимулирует поиск новых видов возобновляемого сырья, в том числе и из производственных отходов. Одним из перспективных направлений является использование растительных волокон для армирования полимерных матриц. Льняные волокна обладают высоким удельным модулем упругости и прочности, что делает их эффективным армирующим наполнителем [1].

Экономически наиболее выгодным решением в области производства биокompозитов является использование в качестве армирующего слоя отходов льнопроизводства. В частности, в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» образуется зна-