

6. Oskolkov, M. L. *Osnovy nauchnyh issledovanij : uchebnoe posobie* / M. L. Oskolkov. – Tyumen' : TGSKHA, 2006. – 454 s.
7. Pogodaev, V. A. *Rezultaty analiza kolichestvennyh i kachestvennyh pokazatelej myasnoj produktivnosti svinej* / V. A. Pogodaev, K. A. Katkov, V. A. Botasheva // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. – 2021. – № 12. – S. 94–99.
8. *Produktivnost' i kachestvo sviny v zavisimosti ot genotipa i tekhnologii otkorma svinej : monografiya* / V. A. Pogodaev, V. I. Komlackij, G. V. Komlackij, V. A. Velichko. – Stavropol' : Servis-shkola, 2021. – 208 s.
9. Shejko, I. P. *Reproduktivnye, otkormochnye i myasnye kachestva svinej porody dyurok pri razlichnyh variantah podbora roditel'skih par* / I. P. Shejko, T. N. Timoshenko, T. L. SHiman // *Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Ser. agrarnyh navuk*. – 2011. – № 1. – S. 74–80.

Поступила в редакцию 08.07.2026.

DOI 10.52368/2078-0109-2026-62-3-108-116
УДК 637.5 (476)

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО СВИНИНЫ: ВЗАИМОСВЯЗЬ pH, ВЛАГИ, СДАТОЧНОЙ МАССЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОРОКОВ

Карпенко А.Ю. ORCID ID 0009-0002-8914-6315

УО «Гродненский государственный аграрный университет», г. Гродно, Республика Беларусь

Статья посвящена исследованию взаимосвязи между уровнем pH и содержанием влаги в свинине, а также их влиянию на формирование технологических пороков мяса (PSE и DFD). В работе проведен корреляционно-регрессионный анализ данных, полученных от 9 образцов свинины из различных сдаточных групп свиней. Исследование выявило сильную, статистически значимую обратную линейную зависимость между pH и влажностью мяса. Было установлено, что низкие значения pH ассоциируются с высоким содержанием влаги и развитием порока PSE, тогда как высокие значения pH связаны с низким содержанием влаги и пороком DFD. Анализ также подтвердил влияние сдаточной массы животного на химический состав мяса. Результаты исследования подчеркивают критическую роль pH в оценке качества свинины и служат основой для разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации технологических процессов в свиноводстве и мясопереработке с целью минимизации пороков мяса и повышения его пищевой и потребительской ценности. **Ключевые слова:** свиноводство, pH, влага, корреляционный анализ, регрессионный анализ, технологические пороки мяса, PSE, DFD, качество мяса.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING PORK QUALITY: INTERRELATIONSHIP OF pH, MOISTURE, WEIGHT AT SLAUGHTER, AND TECHNOLOGICAL DEFECTS

Karpenko A.Y.

Grodno State Agrarian University, Grodno, Republic of Belarus

This article investigates the relationship between pH level and moisture content in pork and their influence on the formation of technological meat defects (PSE and DFD). A correlation and regression analysis was performed on data obtained from 9 pork samples belonging to different deliverable groups. The study revealed a strong, statistically significant inverse linear relationship between the meat pH and moisture. It was established that low pH values are associated with a high moisture content and the development of the PSE defect, whereas high pH values are linked to low moisture content and the DFD defect. The analysis also confirmed the influence of the animal slaughter weight on the meat chemical composition. The research findings emphasize the critical role of pH in assessing pork quality and serve as a basis for developing scientifically sound recommendations for optimizing technological processes in pig farming and meat processing to minimize meat defects and enhance its nutritional and consumer value. **Keywords:** pig farming, pH, moisture, correlation analysis, regression analysis, technological meat defects, PSE, DFD, meat quality.

Введение. Свиноводческая отрасль Республики Беларусь находится на этапе интенсивного развития, что подтверждается амбициозным планом по увеличению объемов производства свинины на 20% в течение предстоящего десятилетия. В условиях высоконасыщенного рынка и возрастающих требований потребителей к качеству продукции, успех столь масштабных планов напрямую зависит от способности отрасли поставлять не просто объемы, но и высококачественное сырье. Современный потребитель и переработчик нуждаются в мясе, обладающем высокой биологической ценностью, превосходными органолептическими свойствами и оптимальной пригодностью к технологической обработке. Однако интенсивные методы производства зачастую приводят к парадоксальному дефициту именно такого качественного сырья. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка и внедрение системных подходов к оптимизации всех этапов производства свинины – от генетики до послеубойной обработки, – обеспечивающих поддержание и повышение ее исходной питательной ценности и функциональных свойств [1].

Ключевым направлением научного обеспечения отрасли является целенаправленное управление качеством мясной продукции. При этом качество свинины не может быть адекватно

охарактеризовано одним или несколькими параметрами; оно определяется десятками показателей, влияющих как на безопасность, так и на пищевую и технологическую ценность. Основными детерминантами качества мяса признаются генетический потенциал пород, физиологические особенности метаболизма животных, условия содержания, режимы кормления и технологические аспекты убоя [2].

Интенсивное развитие свиноводческой отрасли, обусловленное внедрением новых селекционных достижений и технологий выращивания, привело к увеличению доли мясной продукции с технологическими дефектами. Эти пороки туши существенно снижают биологическую и товарную ценность мяса, что диктует необходимость их системного анализа, а также разработки эффективных методов профилактики и коррекции.

Современная классификация пороков мяса включает как традиционные, хорошо изученные формы, так и недавно выявленные типы:

- PSE (Pale, Soft, Exudative – бледное, мягкое, экссудативное): характеризуется чрезмерной бледностью, мягкой консистенцией и значительными потерями мясного сока.
- DFD (Dark, Firm, Dry – темное, твердое, сухое): отличается неестественно темным цветом, плотной структурой и сухостью.
- PFN (Pale, Firm, Non-Exudative – бледное, твердое, неэкссудативное): мясо бледное, но не выделяет сок и имеет плотную текстуру.
- RSE (Red, Soft, Exudative – красное, мягкое, экссудативное): мясо красного цвета, мягкое, но с выделением сока.
- RFN (Red, Firm, Non-Exudative – красное, твердое, неэкссудативное): мясо стандартного красного цвета, твердое и неэкссудативное (считается оптимальным).

Пороки могут быть обусловлены взаимодействием генетических факторов, стрессовых реакций, условий содержания, кормления и технологических особенностей процесса убоя [3, 4].

Генетическая предрасположенность к порокам связана с мутациями в генах, регулирующих кальциевую регуляцию (например, RYR1), а также метаболическими и анатомо-физиологическими особенностями мышечной ткани. Нарушения в работе нервно-мышечного комплекса вызывают патологические изменения, влияющие на качество мяса.

Несмотря на обширные мировые исследования в этой области, характер и распространенность технологических пороков свинины могут значительно варьироваться в зависимости от региональных особенностей зоотехнических практик, генетического потенциала поголовья и специфики технологических процессов, применяемых на конкретных свиноводческих комплексах. В Гродненской области, являющейся одним из ведущих аграрных регионов Республики Беларусь, наблюдается активное развитие свиноводства с внедрением современных высокопродуктивных пород и технологий. Однако комплексный анализ влияния региональных зоотехнических и технологических условий на качество свинины и распространенность технологических пороков остается недостаточно изученным применительно к местным условиям. Отсутствие системных данных затрудняет разработку научно обоснованных рекомендаций по минимизации этих проблем [5, 6].

Цель исследований – комплексно проанализировать характер и распространенность технологических пороков свинины на современных свиноводческих комплексах Гродненской области, установить их связь с ключевыми зоотехническими и биохимическими параметрами. Исследование направлено на выявление основных факторов, влияющих на развитие пороков, что позволит научно обосновать рекомендации по совершенствованию технологических процессов, условий содержания и кормления для достижения оптимального качества и пищевой ценности свинины.

Материалы и методы исследований. Объектом данного исследования явились туши молодняка свиней, полученные на пяти крупных свиноводческих комплексах, расположенных в Гродненской области: ОАО «Василишки», ОАО «Гродненская птицефабрика», СПК «Нива-2003», СПК «Озёры Гродненского района», ПК им. В.И. Кремко. Для решения поставленных задач была сформирована репрезентативная выборка общим объемом 300 туш свиней. В целях изучения влияния технологических факторов и дифференциации качественных показателей, животные были разделены на три технологические группы с различной сдаточной массой: I группа – 95-105 кг, II группа – 110-120 кг, III группа – 130-150 кг.

Вся выборка молодняка свиней относилась к трехпородным ((ландрас×йоркшир)×дюрок) и возрасту 6-7 месяцев. Животные прошли стандартный цикл выращивания и откорма в условиях свиноводческих комплексов. Вариативность выборки по степени проявления различных технологических пороков мяса была целенаправленно сохранена, что обеспечивало репрезентативность и позволило выявить закономерности их возникновения и распространенности.

Процессы убоя животных, разделки туши, отбора необходимых образцов проводились в производственных условиях ОАО «Гродненский мясокомбинат». Особое внимание уделялось минимизации механических повреждений пучков мышечной ткани и излишних надразов, что

предотвращало избыточное бактериальное обсеменение и потери мясного сока. Отбор и подготовка проб мяса для последующих лабораторных испытаний производились в строгом соответствии с действующими межгосударственными и международными стандартами: ГОСТ ISO 7218, ГОСТ 7269, ГОСТ 26668, ГОСТ 26669, ГОСТ 26670, ГОСТ 26929, ИСО 17604:2003.

Отобранные образцы мяса упаковывались с использованием пергаментной бумаги согласно ГОСТ 1341 и целлюлозной пленки, обеспечивая герметичность и сохранение их физико-химических свойств до момента анализа. Отобранные и подготовленные образцы сопровождали в лабораторию с документом с обозначением: даты и места отбора образцов; вида скота; номера туши, присвоенного при приемке; причины и цели испытания; подписи отправителя.

1. Химический состав мяса свиней определяли по следующим показателям:

- массовая доля влаги – по ГОСТ 9793-2016;
- массовая доля жира – по ГОСТ 23042-2015;
- массовая доля золы – по ГОСТ 31727-2012;
- массовая доля белка – по ГОСТ 25011-2017.

2. Диагностика технологических пороков – определение признаков пороков PSE и DFD.

- Органолептическая оценка мяса (цвет, запах, консистенция визуальна) – по ГОСТ 9959-2015 [7, 8].

- Определение pH мышечной ткани в трех точках (передняя, средняя, задняя части туши) с помощью портативного pH-метра Testo через 1 час и через 24 часа после убоя.

3. Статистическая обработка данных.

Полученные данные были подвергнуты комплексной статистической обработке с использованием пакета Microsoft Excel и специализированного программного обеспечения. В процессе анализа были применены следующие методы:

- корреляционный анализ: для оценки тесноты и направления связи между изучаемыми количественными признаками (pH, влага, жир, белок) использовались коэффициенты линейной корреляции Пирсона (r) и ранговой корреляции Спирмена (r_s), а также Кендалла (τ);

- регрессионный анализ: для построения математической модели взаимосвязи между pH и влажностью была использована линейная регрессия с определением уравнения линии тренда и коэффициента детерминации (R^2);

- проверка статистической значимости: достоверность полученных коэффициентов корреляции оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента при заданном уровне значимости $P < 0,05$.

Данные представлены в виде таблиц, графиков рассеяния и сопровождаются интерпретацией выявленных закономерностей [9, 10].

Результаты исследований. На следующем этапе исследования на ОАО «Гродненский мясокомбинат» проведен отбор образцов лопаточной части туши для технологических испытаний, зоотехнического анализа, а также дегустации. Достаточно полное представление о качестве получаемой продукции можно получить при проведении химического анализа образцов мяса с лопаточной части туши.

В отраслевой научно-исследовательской лаборатории «АгроВет» УО «Гродненский государственный аграрный университет» определен химический состав мяса свиней. Результаты химического состава образцов лопаточной части туши, отобранные со свиноводческого комплекса Гродненской области №1, представлены в таблице 1.

Выборка демонстрирует четкую связь между увеличением сдаточной массы и содержанием жира и сухого вещества при одновременном снижении процента влажности. Однако наличие в выборке как порока PSE, так и порока DFD туш свидетельствует о нестабильности качества, требующей системного вмешательства: улучшения предубойной подготовки животных, мониторинга pH и условий транспортировки/убоя, а также расширения лабораторного контроля и статистической обработки данных.

Между группами 95–105 и 110–120 кг существенных различий по средним значениям влаги и жира не выявляется (приблизительно одинаковые средние показатели), тогда как группа 130–150 кг отличается значительно. Наблюдается внутригрупповая вариабельность (например, влага 69,28–73,70%), что требует учета при подборе сырья для конкретных продуктов.

PSE-признаки (бледное, мягкое, водянистое, $pH_{24} \approx 5,7$) подтверждены у образцов №3 ($pH_{24} = 5,46$) и №7 ($pH_{24} = 5,35$). У этих образцов также выше влажность и меньше сухого вещества — типично для PSE. DFD-признаки (высокий pH, темное сухое мясо): образец №8 ($pH_{24} = 6,41$) соответствует DFD; у него низкая влажность и высокое содержание сухого вещества и жира. Образцы с пороком PSE (№3, №7) менее пригодны для многих технологических процессов из-за высокой влагоемкости и измененной структуры белка (особенно миозина и актина). В результате мясо теряет влагу, приобретает бледный цвет и мягкую консистенцию.

Таблица 1 – Химический состав мяса с лопаточной части туши молодняка свиней различных сдаточных масс со свиноводческого комплекса Гродненской области №1, %

Наименование	Показатель						
	Влага	Жир	Зола	Белок	Сухое вещество	Сдаточная масса, кг (группа)	pH через 24 ч
Образец №1	73,55	3,52	0,84	22,09	26,45	98,15	5,80
Образец №2	73,42	3,86	0,74	21,98	26,58	100,18	5,91
Образец №3	76,47	3,43	0,74	19,36	23,53	103,11	5,46 Порок PSE
Образец №4	73,83	4,21	0,77	21,19	26,17	115,76	5,84
Образец №5	71,07	2,82	0,81	19,57	23,20	118,60	5,85
Образец №6	73,74	3,40	0,82	22,04	26,26	119,40	5,91
Образец №7	76,80	4,49	0,81	23,63	28,93	146,80	5,35 Порок PSE
Образец №8	69,28	5,45	0,82	24,45	30,72	150,0	6,41 Порок DFD
Образец №9	73,70	4,10	0,82	21,38	26,30	142,0	6,01
Среднее значение	73,54	3,97	0,79	21,7	26,46	-	-
Лимиты (lim)	69,28-76,8	2,82-5,45	0,74-0,82	19,36-24,45	23,2-30,72	-	-
Коэффициент вариации, C_v, %	3	19	5	8	9	-	-
Стандартная ошибка средней рифметической	0,77	0,28	0,012	0,62	0,88	-	-

По итогу исследования наиболее стабильное и высокое качество мяса (по показателю pH и отсутствию пороков PSE/DFD) достигается у свиней со сдаточной массой в диапазоне от 115,76 до 119,40 кг. Среднее значение для этой оптимальной группы составляет 117,92 кг. Мясо этой категории характеризуется сбалансированным химическим составом. Целесообразно ориентироваться на сдаточную массу 110–120 кг. Это позволяет получить продукт с максимально стабильными физико-химическими характеристиками, избежать технологических потерь от пороков PSE/DFD и обеспечить высокую экономическую эффективность реализации свинины.

Для всесторонней оценки взаимосвязи между показателями pH мяса через 24 часа после убоя (pH, независимая переменная X) и его влажностью (Влага, зависимая переменная Y), а также для определения прогностической значимости этих связей был применен комплексный корреляционно-регрессионный анализ. Целью данного этапа является количественная характеристика тесноты и направления связи между изучаемыми признаками, а также статистическая проверка ее достоверности. Целью является не доказать причинность, а количественно оценить статистическую взаимосвязь. На основании представленных эмпирических данных (таблица 2) построена теоретическая линия регрессии, графически отображающая усредненную зависимость между признаками. Математическая интерпретация данной зависимости будет представлена в виде уравнения парной линейной регрессии, сопровождаемого расчетом показателей тесноты связи (корреляционный анализ) и оценкой адекватности модели (анализ значимости). В таблице 2 и диаграмме представлены рассеяния по результатам наблюдений.

В таблице 2 и диаграмме:

- X (pH) - уровень pH, лопаточной части туши свиней через 24 часа после убоя.
- Y (Влага) - содержание влаги в мясе, в процентах.

Точки на графике располагаются таким образом, что с увеличением pH (движение вправо по оси X) значения влаги (движение вниз по оси Y) имеют явную тенденцию к снижению. Это указывает на обратную связь между двумя показателями. Точки достаточно хорошо группируются вокруг воображаемой прямой линии, что подтверждает применимость линейных моделей для описания этой зависимости. Линия тренда (линейная регрессия): на график нанесена пунктирная линия тренда, которая наилучшим образом аппроксимирует общую линейную зависимость в данных.

Уравнение регрессии: $y = -6,3424x + 110,41$. Коэффициент наклона -6,3424: показывает, что при увеличении pH на 1 единицу содержание влаги в мясе в среднем уменьшается на 6,34 процентных пункта. Отрицательный знак подтверждает обратную зависимость.

Коэффициент детерминации (R^2) = 0,746 показывает, какая доля общей вариации (изменчивости) зависимой переменной (Влага) объясняется вариацией независимой переменной (pH) в построенной линейной модели, примерно 74,63% изменчивости содержания влаги в мясе объясняется изменениями уровня pH. Столь высокий коэффициент детерминации подтверждает надежность выявленной зависимости и позволяет использовать показатель pH в качестве значимого прогностического фактора при оценке влагосодержания мяса.

Таблица 2 - Результаты наблюдений

Х	У
pH	Влага
5,58	73,55
5,91	73,42
5,46	76,47
5,84	73,83
5,35	76,8
5,91	73,74
5,85	71,07
6,41	69,28
6,01	73,7

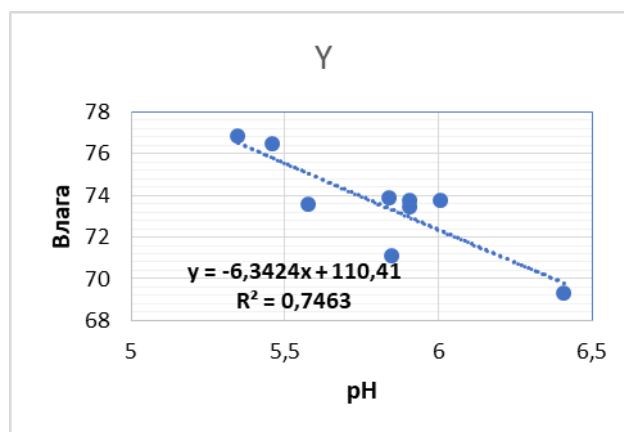


Диаграмма - Рассеяния по результатам наблюдений

Для глубокого понимания взаимосвязи между pH и влажностью мяса мы проанализировали три различных коэффициента. Каждый из них освещает определенный аспект статистической связи. Ниже представлен подробный разбор каждого показателя, уточнение расчетов и итоговый аналитический вывод.

В условиях данного исследования коэффициент корреляции Пирсона равен $r = -0,86$. Принято считать корреляционную зависимость обратной и сильной. Отрицательный знак указывает на инверсию: чем выше показатель pH через 24 часа после убоя, тем ниже содержание влаги в исследуемых образцах (и наоборот). Абсолютное значение (0,86) по шкале Чеддока относится к диапазону «высокой» тесноты связи (от 0,7 до 0,9). Это говорит о том, что переменные изменяются очень согласованно.

Важным этапом анализа является проверка того, не является ли полученная связь результатом случайного совпадения на малой выборке ($n = 9$). Далее, по формуле находим $t_{набл} = 2,66$. При $P < 0,05$ критическое значение $t_{кр} = 2,34$. Рассчитанное значение критерия Стьюдента ($t_{набл} = 2,66$) превышает критическое табличное значение ($t_{кр} = 2,34$) для уровня значимости $P < 0,05$. Это позволяет нам отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии связи. Выявленная зависимость признается статистически достоверной с надежностью 95%. Поскольку связь подтверждена критерием Стьюдента, результаты анализа можно считать репрезентативными для данной группы наблюдений.

Для оценки устойчивости выявленной связи и дополнения общей картины исследования проведен анализ с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена.

Коэффициент Спирмена (r_s).

В наших исследованиях коэффициент корреляции Спирмена $r_s = -0,704$. Полученное значение подтверждает ранее сделанные выводы.

Использование ранговой корреляции подтвердило наличие сильной обратной связи. Это означает, что выявленная зависимость — не случайный эффект отдельных экстремальных значений, а общая закономерность, характерная для всей выборки. Тот факт, что непараметрический тест (Спирмен) показал высокий результат, свидетельствует о том, что связь между pH и влажностью мяса проявляется на уровне устойчивой тенденции, которая не зависит от формы распределения признаков. Результаты ранжирования подтверждают, что образцы мяса с более низким уровнем pH стабильно занимают первые места по уровню влажности. Это подчеркивает важность контроля динамики pH для обеспечения нужных физико-химических свойств готового продукта.

Значение коэффициента Спирмена несколько ниже значения коэффициента Пирсона. Это указывает на то, что связь между pH и влажностью имеет ярко выраженный линейный характер, однако в данных присутствуют небольшие колебания в рангах, которые немного снижают непараметрический показатель. Тем не менее, оба коэффициента находятся в одной категории («высокая связь»), что говорит о достоверности обнаруженного тренда.

Коэффициент ранговой корреляции Кендалла (τ).

Вычисленное значение коэффициента ранговой корреляции Кендалла $\tau = -0,944$. Значение является чрезвычайно высоким. Это говорит о почти идеальной согласованности: практически в каждой паре образцов более высокому значению pH соответствует более низкое значение влажности. По шкале тесноты связи это соответствует «весьма высокой» степени зависимости.

Исследование математически доказало, что уровень pH является ключевым фактором, детерминирующим содержание влаги в мясе, а построенная корреляционная модель обладает высокой точностью и надежностью. Проведенный многофакторный корреляционный анализ позволил получить статистически достоверную картину качества мясного сырья. Использование трех различных методов оценки (параметрического и непараметрических) обеспечило высокую надежность выводов за счет их сходимости.

Исследуемые данные полностью подтверждают теоретические представления о механизмах формирования пороков PSE и DFD. Крайние значения pH напрямую коррелируют с отклонениями в содержании влаги и, как следствие, с проявлением этих пороков. Исследования подчеркивают критическую важность мониторинга pH мяса в ранние сроки после убоя. Это позволяет оперативно выявлять образцы с потенциальными пороками. Зная сильную корреляцию между pH и влагой, можно использовать измерение pH как быстрый и точный индикатор для прогнозирования будущих технологических свойств мяса. Это особенно важно для предприятий, где необходимо мясное сырье с определенной влагоудерживающей способностью.

На основании результатов комплексного анализа химического состава и распространенности технологических пороков свинины (PSE и DFD), выявленных на ОАО «Гродненский мясокомбинат», нами были разработаны следующие научно обоснованные рекомендации, направленные на повышение технологической ценности сырья и стабильности качества готовой продукции.

Ключевым элементом повышения эффективности переработки является обязательное внедрение системы сортировки туш на основе измерения водородного показателя (pH) через 24 часа после убоя.

Внедрение системы дифференцированной сортировки мясного сырья по показателю pH представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Система дифференцированной сортировки мясного сырья по показателю pH

Категория качества	Диапазон pH	Рекомендуемое технологическое назначение
PSE-порок	≤6,20 через 1 ч ≤5,79 через 24 ч	Использовать в строго ограниченных количествах, не превышающих 10-15%, исключительно для фаршевых изделий низшего сорта. Обязательным условием является применение фосфатов и гидроколлоидов для компенсации низкой влагоудерживающей способности и улучшения текстуры. Использование PSE-мяса в производстве сыровяленых и цельномышечных продуктов абсолютно исключено из-за высоких потерь, кислого вкуса и бледного цвета готового продукта.
DFD-порок	≥6,20 через 1 ч ≥6,20 через 24 ч	Приоритетное использование на производство вареных колбас, ветчин и сосисок. Его высокая влагоудерживающая способность обеспечивает максимальный выход продукции и плотную консистенцию. Однако необходимо учитывать повышенный микробиологический риск, обусловленный высоким pH, что требует ускоренной переработки такого мяса (в течение 24-48 часов после убоя) и строгого контроля температуры на всех этапах.
Стандартное	6,20-5,80	Универсальное сырье для всего ассортимента.

В итоге выявленных закономерностей и с целью оптимизации производственных процессов, повышения качества и экономической эффективности на ОАО «Гродненский мясокомбинат» были разработаны научно обоснованные рекомендации по корректировке технологических процессов. Эти рекомендации призваны учесть специфические характеристики каждой категории мяса, минимизировать негативное влияние дефектов и максимально использовать потенциал высококачественного сырья.

Представленная ниже таблица 4 детализирует необходимые корректировки технологических процессов для каждой категории мяса, идентифицированной в исследовании. В ней представлены конкретные цели коррекции, перечень рекомендованных функциональных ингредиентов и специфические изменения в технологических операциях, направленные на минимизацию недостатков дефектного сырья и максимальное использование потенциала высококачественной свинины. Эти меры являются ключевым шагом к обеспечению стабильного качества конечной продукции, снижению производственных потерь и повышению конкурентоспособности мясоперерабатывающего предприятия в условиях вариабельности поступающего сырья.

Представленная в таблице 4 информация является прямым следствием выявленных в ходе исследования особенностей мясного сырья свиней с различными технологическими характеристиками. Анализ показал, что вариабельность в составе и свойствах свинины, обусловленная как естественными процессами роста и развития животных, так и возникновением технологических пороков PSE и DFD, требует дифференцированного подхода к ее переработке.

Таблица 4 - Рекомендации по корректировке технологических процессов

Категория качества	Цель корректировки	Рекомендованные ингредиенты	Коррекция технологического процесса
PSE-порок	Повышение влагоудерживающей способности (ВУС), стабилизация структуры белка, снижение потерь при термообработке.	Фосфаты (E450-E452): в количестве 0,3-0,5% к массе сырья для повышения катионообменной емкости белков. Гидроколлоиды (каррагинаны, камеди): для создания гелевой структуры и связывания свободной влаги. Животные белки: повышают связывающую способность фарша.	Требуется усиленное куттерование с обязательным добавлением льда для предотвращения перегрева фарша и лучшей экстракции солерастворимых белков. Доля PSE-мяса в рецептурах фаршевых изделий должна быть строго ограничена (не более 10-15%). Данное сырье не подлежит использованию в производстве сыровяленых и цельномышечных продуктов.
DFD-порок	Снижение микробиологического риска, стабилизация цвета, оптимизация структуры.	Строгое соблюдение дозировок нитритной соли для подавления гнилостной микрофлоры. Рекомендуется введение антиокислителей (аскорбиновая или изоаскорбиновая кислоты в концентрации 0,05-0,1%) для ускорения реакций цветообразования и фиксации специфического темно-красного пигмента.	Необходима ускоренная переработка сырья (не позднее 24-48 часов после убоя) и жесткий температурный контроль (не выше 4°C) на всех этапах. При производстве эмульгированных продуктов следует применять интенсивное перемешивание для равномерного распределения посолочных веществ.

1. *Необходимость сегментации сырья.* Присутствие в сырьевых потоках мяса с пороками PSE и DFD, а также высокоупитанной свинины диктует невозможность применения унифицированных технологических схем. Отсутствие сегментации приводит к неоптимальному использованию сырья: PSE-мясо вызывает потери при термообработке и ухудшает качество, DFD-мясо создает риски микробиологической порчи и требует специфических условий переработки, а высокоупитанное мясо не всегда оптимально используется в стандартных рецептурах.

2. *Роль функциональных ингредиентов.* Применение специализированных ингредиентов, таких как фосфаты, гидроколлоиды и животные белки для PSE-мяса, а также нитритной соли и антиоксидантов для DFD- и высокоупитанного мяса соответственно позволяет компенсировать или минимизировать негативные свойства сырья. Эти добавки направлены на стабилизацию белковой матрицы, связывание влаги, предотвращение окисления и обеспечение микробиологической безопасности.

3. *Адаптация технологических операций.* Корректировка ключевых технологических операций, включая интенсивность куттерования, температурные режимы, время термообработки и сроки переработки, является критически важной. Например, усиленное куттерование с применением функциональных добавок позволяет улучшить свойства PSE-мяса, тогда как ускоренная переработка DFD-сырья снижает риски, а сокращение времени термообработки высокоупитанного мяса предотвращает потери.

4. *Экономическая целесообразность.* Реализация предложенных корректировок технологических процессов, основанных на дифференциации сырья, напрямую связана с повышением экономической эффективности производства. Это достигается за счет:

- снижения потерь – минимизации потерь влаги и белка при переработке PSE-мяса;
- увеличения выхода продукции за счет использования высокой ВУС DFD-мяса и низких потерь при термообработке высокоупитанного мяса;
- повышения качества – обеспечения стабильно высокого качества конечного продукта, соответствующего требованиям рынка, и возможности производства премиальных изделий из высококачественного сырья;
- снижения брака – предотвращения производства некондиционной продукции из-за неправильного использования дефектного сырья.

Таким образом, внедрение гибких, дифференцированных технологических подходов, основанных на глубоком понимании свойств мясного сырья, является необходимым условием для повышения конкурентоспособности мясоперерабатывающего предприятия Республики Беларусь и удовлетворения растущих требований рынка к качеству и безопасности продукции.

Закключение. Проведенное комплексное исследование факторов, влияющих на качественные показатели свинины в условиях Гродненской области, позволяет сформулировать итоговые выводы, имеющие как теоретическую, так и практическую значимость для агропромышленного сектора.

1. Установлено, что увеличение сдаточной массы молодняка свиней до 130–150 кг способствует направленному изменению химического состава мяса, выражающемуся в достоверном увеличении массовой доли сухого вещества и внутримышечного жира при закономерном снижении содержания влаги. Наиболее стабильное и высокое качество достигается у свиней со сдаточной массой в диапазоне от 110 до 120 кг. Среднее значение для этой оптимальной группы составляет 117,92 кг. Мясо данной категории обладает максимально сбалансированным химическим составом, это позволяет избежать технологических потерь от пороков PSE/DFD и обеспечить высокую экономическую эффективность реализации свинины.

2. Подтверждена фундаментальная взаимосвязь между уровнем pH через 24 часа после убоя и физико-химическим состоянием мясного сырья. Выявленная сильная обратная корреляционная зависимость между pH и влажностью позволяет использовать pH как надежный маркер для идентификации технологических пороков. Установлено, что критическое падение pH ниже 5,5 сопряжено с развитием эксудативности (порока PSE), в то время как стабилизация pH на уровне выше 6,2 свидетельствует о формировании порока DFD.

Проведенный многофакторный корреляционный анализ позволил получить статистически достоверную картину качества мясного сырья. Использование трех различных методов оценки (параметрического и непараметрических) обеспечило высокую надежность выводов за счет их сходимости. Все примененные коэффициенты — Пирсона ($r = -0,86$), Спирмена ($r_s = -0,704$) и Кендалла ($\tau = -0,944$) — подтвердили наличие сильной обратной зависимости. Тот факт, что наиболее строгий для малых выборок коэффициент Кендалла показал максимальную согласованность, доказывает, что выявленная связь является фундаментальной закономерностью, а не случайным распределением.

3. Мониторинг pH в ранние сроки после убоя должен быть внедрен как обязательный элемент системы контроля качества. Это позволит оперативно проводить сортировку сырья по его целевому назначению (производство цельнокусковых деликатесов, колбасных изделий или реализация в свежем виде), обеспечивая стабильность технологических процессов и снижая экономические риски, связанные с переработкой дефектного мяса.

4. Научно обоснована необходимость перехода от унифицированных режимов переработки свинины к дифференцированным технологическим схемам. Сортировка сырья по показателю pH24ч и последующая корректировка рецептур являются ключевыми инструментами управления качеством.

5. Предложенные рекомендации по корректировке технологических процессов позволяют мясоперерабатывающим предприятиям минимизировать производственные потери, оптимизировать расход функциональных ингредиентов и обеспечить стабильно высокие органолептические характеристики готовой продукции.

Таким образом, интеграция биохимического контроля (мониторинг pH) и зоотехнического учета (анализ сдаточной массы) в производственный цикл является необходимым условием для повышения конкурентоспособности мясной отрасли и рационального использования биологических ресурсов животноводства.

Conclusion. This comprehensive study of factors influencing pork quality in the Grodno region allows us to formulate final conclusions with both theoretical and practical significance for the agro-industrial sector.

1. It has been established that increasing the finishing weight of young pigs to 130–150 kg leads to a targeted change in the chemical composition of the meat, resulting in a significant increase in dry matter and intramuscular fat content with a consistent decrease in moisture content. The most consistent and high quality is achieved in pigs with weights at slaughter ranging from 110 to 120 kg. The average value for this optimal group is 117.92 kg. Meat in this category has the most balanced chemical composition, which helps prevent process losses due to PSE/DFD defects and ensures high economic efficiency in pork sales.

2. A fundamental relationship between pH 24 hours after slaughter and the physicochemical condition of meat raw materials was confirmed. The identified strong inverse correlation between pH and moisture content allows pH to be used as a reliable marker for identifying process defects. It was established that a critical drop in pH below 5.5 is associated with the development of exudative sludge (PSE defect), while stabilization of pH above 6.2 indicates the development of DFD defect.

2. A multivariate correlation analysis yielded a statistically reliable picture of meat raw material quality. The use of three different evaluation methods (parametric and nonparametric) ensured high reliability of the conclusions due to their convergence. All applied coefficients — Pearson ($r = -0.86$), Spearman ($r_s = -0.704$), and Kendall ($\tau = -0.944$)—confirmed the presence of a strong inverse relationship.

The fact that the most stringent Kendall coefficient for small samples demonstrated the highest consistency proves that the identified relationship is a fundamental pattern and not a random distribution.

3. pH monitoring early after slaughter should be implemented as a mandatory element of the quality control system. This will allow for the prompt sorting of raw materials according to their intended purpose (production of whole-piece delicacies, sausages, or fresh sale), ensuring the stability of technological processes and reducing the economic risks associated with the processing of defective meat.

4. The need to transition from standardized pork processing modes to differentiated technological schemes has been scientifically substantiated. Sorting raw materials by pH_{24h} and subsequent recipe adjustments are key quality management tools.

5. The proposed recommendations for adjusting technological processes allow meat processing plants to minimize production losses, optimize the consumption of functional ingredients, and ensure consistently high organoleptic characteristics of finished products. Thus, the integration of biochemical control (pH monitoring) and zootechnical records (analysis of deliverable meat) into the production cycle is a necessary condition for increasing the competitiveness of the meat industry and the rational use of biological resources in livestock farming.

Список литературы.

1. Алексеев, А. Л. Оценка качества свинины / А. Л. Алексеев, В. А. Бараников, О. Р. Барило // *Всё о мясе*. – 2009. – № 4. – С. 38–39.
2. Копейкина, Л. В. Исследование качества и безопасности свинины / Л. В. Копейкина, Е. В. Ходзицкая // *Вестник ТГЭУ*. – 2005. – № 2. – С. 54–60.
3. Качество мяса и мясных продуктов. Т. 1, ч. 1 / В. Бранштайд [и др.]. – 2-е изд., доп. – Москва : ДойчерФехферлаг, 2007. – 358 с.
4. Курдеко, А. П. Стресс у животных в условиях интенсификации и модернизации животноводства (обзор) / А. П. Курдеко, М. В. Богомольцева // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. – 2017. – Т. 53, вып. 2. – С. 84–88.
5. Гришина, Л. П. Физико-химические качества мяса чистопородных, помесных и гибридных свиней / Л. П. Гришина, А. А. Краснощок // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. – 2019. – Т. 55, вып. 3. – С. 112–116.
6. Дойлидов, В. А. Морфологический состав туш и качество мяса свиней различных генотипов / В. А. Дойлидов, Н. А. Лобан // *Ученые записки Витебской ордена «Знак Почета» государственной академии ветеринарной медицины*. – Витебск, 2000. – Т. 36, ч. 1. – С. 140–141.
7. ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки : дата введения 01.01.2017. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 19 с.
8. ГОСТ 31476- 2012. Свиньи для убоя. Свинина в тушах и полутушах : дата введения 01.07.2013. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
9. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Высшая школа, 1973. – 316 с.
10. Антипова, Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Рогов. – Москва : Колос, 2001. – 376 с.

References.

1. Alekseev, A. L. Ocenka kachestva svininy / A. L. Alekseev, V. A. Baranikov, O. R. Barilo // *Vsy o myase*. – 2009. – № 4. – S. 38–39.
2. Kopejkina, L. V. Issledovanie kachestva i bezopasnosti svininy / L. V. Kopejkina, E. V. Hodzickaya // *Vestnik TGEU*. – 2005. – № 2. – S. 54–60.
3. Kachestvo myasa i myasnyh produktov. T. 1, ch. 1 / V. Branshtajd [i dr.]. – 2-e izd., dop. – Moskva : DojcherFekhferlag, 2007. – 358 s.
4. Kurdeko, A. P. Stress u zhivotnyh v usloviyah intensifikacii i modernizacii zhivotnovodstva (obzor) / A. P. Kurdeko, M. V. Bogomol'ceva // *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny»*. – 2017. – T. 53, vyp. 2. – S. 84–88.
5. Grishina, L. P. Fiziko-himicheskie kachestva myasa chistoporodnyh, pomesnyh i gibridnyh svinej / L. P. Grishina, A. A. Krasnoschok // *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny»*. – 2019. – T. 55, vyp. 3. – S. 112–116.
6. Dojlidov, V. A. Morfologicheskij sostav tush i kachestvo myasa svinej razlichnyh genotipov / V. A. Dojlidov, N. A. Loban // *Uchenye zapiski Vitebskoj ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny*. – Vitebsk, 2000. – T. 36, ch. 1. – S. 140–141.
7. GOST 9959-2015. Myaso i myasnye produkty. Obshchie usloviya provedeniya organolepticheskoy ocenki : data vvedeniya 01.01.2017. – Moskva : Standartinform, 2018. – 19 s.
8. GOST 31476- 2012. Svin'i dlya uboya. Svinina v tushah i polutushah : data vvedeniya 01.07.2013. – Moskva : Standartinform, 2013. – 20 s.
9. Rokickij, P. F. Biologicheskaya statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Vysshaya shkola, 1973. – 316 s.
10. Antipova, L. V. Metody issledovaniya myasa i myasnyh produktov / L. V. Antipova, I. A. Rogov. – Moskva : Kolos, 2001. – 376 s.

Поступила в редакцию 26.03.2026.