



УДК 681.58; 621.391.63.

МРНТИ 50.05, 50.41

https://doi.org/10.53364/24138614_2026_42_3_12

Ф.К.Абитаев¹, Б.Н.Азаматов¹, В.А.Корнев¹, К. Алибеккызы^{1*}, Р.Е. Жанбосинов¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени
Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ АГРОИНЖИНИРИНГА

Аннотация. Цель работы состоит в повышении качества агроинжиниринга кормопроизводства крупного рогатого скота в условиях Восточного Казахстана. Сельхозпроизводство Казахстана относится к зоне повышенного риска, в связи с чем в работе в качестве ключевых критериев качества агроинжиниринга использованы риск производителя и риск потребителя сельхозпродукции. Особенно остро и проблематично представляется реализация задач в данном научно-производственном контексте по причине недостаточной научной изученности предметной области, особенно в региональном природно-климатическом и географическом аспектах. В современных цифровых системах управления производством ключевое значение приобретают опережающий мониторинг и контроль. В работе рассматривается новый подход, состоящий в том, что управление конвертируется в систему агроинжиниринга, в котором риски рассматриваются как критерии цифровой зрелости бизнес-среды. В животноводстве, как показывает практика, решающую роль играет качество кормов, контроль которого не представляется возможным без использования современных digital-решений на всех без исключения технологических переделах кормопроизводства. Для квалиметрического оценивания процессов контроля по критерию цифровой зрелости как в интегральном, так и дифференциальном форматах, в работе предлагается новая модель на принципах нечеткости агентов управления, что повышает качество процесса принятия решений.

Ключевые слова: агроинжиниринг, кормопроизводство, риск, цифровая зрелость, контроль, модель.

Введение.

Цель работы состоит в повышении качества агроинжиниринга кормопроизводства крупного рогатого скота в условиях Восточного Казахстана. В новой парадигме цифровой трансформации экономики, акценты результативности технологий управления смещаются от точечной цифровизации отдельных digital-решений к интегрированной системотехнике на платформе больших данных [1]. Вопрос о дальнейших путях развития интеграционных подходов пока однозначно не решен, и по нашему мнению единого рецепта быть не может. В каждом конкретном случае, учитывая множество факторов социально-экономического, политического и регионального характера, опираясь на научное исследование реальной ситуации, тогда только можно строить прогнозы и рекомендации по стратегическому развитию хозяйствующего субъекта.

В интегрированных системах цифровизации технологических переделов кормопроизводства выполняются следующие процедуры: контроль функционирования объекта (процесса) по информации, поступающей из внешней и внутренней среды, например, процессов измельчения, дозирования, смешивания кормов и т.д, контроль отдельных физико-биологических показателей объекта контроля [2]. Количественная оценка и прогнозирование рисков в настоящее время является одной из актуальных проблем в науке управления. Один из современных подходов в решении данной проблемы состоит в использовании новых цифровых технологий на платформе цифровых двойников [3].

Одной из актуальных задач цифровой трансформации бизнес-процессов является обеспечение роста качества управления, что наиболее эффективно, как показывает литературный анализ, решается на основе разработки и использования цифровых двойников (ЦД) предприятия. Как показывает анализ доступных публикаций, в сельском хозяйстве ЦД в настоящее время применяются крайне редко в силу того, что АПК технологически намного сложнее, чем другие отрасли производства. Цифровые двойники в настоящем исследовании предлагается использовать в качестве механизма и инструмента опережающего мониторинга цифровой зрелости системы управления качеством кормопроизводства [4].

Контрольно-измерительные процедуры в системе управления качеством кормопроизводства осуществляются в условиях высокой неопределенности данных и параметрической нечеткости агентов управления, что порождает риски [5].

В результате анализа текущего состояния цифровизации бизнес-процессов, а также следуя закону Республики Казахстан, определяющего перспективы цифровой трансформации экономики государства, считается целесообразным в исследовании развития цифровых технологий хозяйствующего субъекта ориентироваться: на кастомизацию, т.е. изменение продукта под потребности и желания конкретного потребителя; сбор больших данных и предиктивную аналитику; «умный» контроль; оптимизацию бизнес-процессов. Все вышеназванные цифровые технологии связаны между собой не только корреляционной связью, но они технологически не могут существовать раздельно и тем самым дискредитировать сам смысл интеграции.

Ключевую роль в процессе интеграции играют большие данные (big data), так как на локальных объемах данных в принципе нельзя построить «цифровой двойник», цифровую аналитику и имитационные модели, а также Data Mining. Только на больших данных может быть реализован прецедентный подход, на котором строятся искусственный интеллект (ИИ), нейросетевые решения и машинное обучение, предиктивная аналитика и ряд других цифровых инструментов [6].

При этом представляется крайне важным не отождествлять «Искусственный интеллект», «Машинное обучение» и «Нейронные сети». На различие между этими понятиями указывается в работах [7] и приводится рисунок для визуализации этого различия (рис. 1). Как следует из данного рисунка, «нейротехнология является одной из технологий машинного обучения, которое, в свою очередь, является одной из технологий искусственного интеллекта.



Рисунок 1 – Связь между нейронными сетями, машинным обучением и искусственным интеллектом

Нейротехнологии и искусственный интеллект служат: для выявления взаимосвязей между явлениями, предиктивной аналитики, интеллектуального анализа данных и т.д. [8].

Материалы и методы исследования.

Объектом предметного исследования являются бизнес-процессы предприятия ТОО «Опытное хозяйство масличных культур» (ОХМК), которое занимается производством оригинальных семян, семян высших репродукций подсолнечника и зерновых культур, товарным производством сельскохозяйственной продукции, молочным животноводством. В таблице 1 приведены структурно-организационные данные ОХМК.

Таблица 1 – Структурно-организационные данные ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»

Подразделение	Кол-во должностей	Кол-во работников
Тракторно-полеводческая бригада	13	56
Автогараж	17	71
Мехток	5	21
ЗНКИ (новый мехток, в котором размещен комбикормовый цех)	9	23
Наука	13	30
МТМ	5	6
Энергоцех	5	12
Столовая	5	9
АУП	19	36
Стройцех	7	17
Охрана	3	33
Ферма	22	75
ИТОГО:	101	389

Научно-практическая концепция предметного исследования опирается на идею агроинжиниринга, как сложной стохастически-программированной системы в условиях цифровой трансформации бизнес-среды. Объектом исследования являются бизнес-процессы ТОО «Опытное хозяйство масличных культур» (ОХМК), территориально расположенного в Восточно-Казахстанской области, а географически в предгорьях Южного Алтая [1]. В концептуальном методологическом плане предмет исследования рассматривается с позиций процессной системной динамики. Бизнес-среда и бизнес-процессы ОХМК в предметном контексте исследования поддерживаются Государственными и региональными программами Цифровой трансформации. Ключевым бизнес-процессом, вынесенным в предмет исследования, является – кормопроизводство, которое в аграрном секторе (АС) связывает все технологические переделы сельхозпроизводства в единую целевую систему обеспечения населения продукцией животноводства. Кормопроизводство является интегрирующим системным фактором в обеспечении эффективного управления агрокомплексом путем рационального природопользования и поддержки необходимого баланса между многими отраслями. Важным фактором в повышении качества управления в АС Республики Казахстан является широкое внедрение достижений науки и техники на базе цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла агропроизводства. В качестве контекстной идеи в управлении результативностью бизнес-процессов выбрана - «Индустрия 4.0» [9]. Выбор данной концептуальной платформы обоснован тем, что в бизнес-деятельности хозяйствующего субъекта композиционно представлены агенты материального и нематериального (виртуального) происхождения, особенно в векторе управления, где порождаются риски, имеющие на этапе формализации нематериальную сущность. Риски приобретают материальное измерение после этапа реализации принятого решения на практике, например, в кормопроизводстве на технологических переделах - измельчения, смешивания, дозирования и т.д.

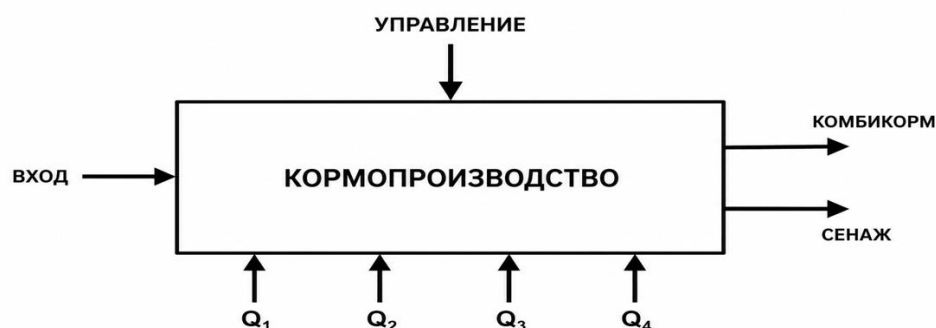
Композиционно объединить и количественно оценить разнородные сущности бизнеса, в условиях цифровой трансформации, предлагается интегральным вектор-критерием - «Цифровая зрелость» (ЦЗ). Модель управления качеством кормопроизводства ОХМК по критерию ЦЗ рассматривается как киберпространство, в которой обязательным звеном является обратная связь – «коррекция». В процессе формализации задач теоретического исследования данной предметной области, используется многоподходный принцип на базе таких математических разделов как: теория вероятности и математическая статистика, имитационное моделирование, теория нечетких множеств, экспертные оценки, агентный подход. Для формализации процесса количественного оценивания и прогнозирования цифровой зрелости агроинжиниринга объекта используется аппарат теории нечетких множеств.

Результаты и их обсуждение.

Главной задачей сельского хозяйства является: обеспечить население продуктами питания и некоторыми видами сырья необходимого для легкой промышленности. Сельхозпроизводство тесно привязано к конкретным природно-климатическим и географическим условиям хозяйствующего субъекта, что является одним из главных факторов, влияющих на его производственные показатели. В бизнес-деятельности ОХМК ключевой проблемой является – кормопроизводство. Как отмечается во многих работах - «Кормопроизводство связывает в единую систему все отрасли аграрного сектора. Оно обеспечивает эффективное управление сельскохозяйственными землями и рациональное природопользование, поддерживает необходимый баланс отраслей» [3,4]. Обеспечить выполнения всех требований и рецептуры кормов невозможно без привлечения цифровых технологий, что требует концепция агроинжиниринга, отраженная в политике цифровых агентов агропромышленного комплекса Республики Казахстан.

В интегрированных системах цифровыми агентами выполняются следующие процедуры: контроль функционирования объекта (процесса) по информации, поступающей от внешних источников; обработка измерительной информации; коррекция модели опережающего мониторинга и контроля, обеспечивая «обучение» системы. Цифровые агенты в сложных стохастически - программируемых системах интегрируются в мультиагентные интеллектуальные композиции [10].

В соответствии со стандартами ISO 9001/2015 и IDEF0, процесс кормопроизводства в предлагаемой работе представлен контекстным блоком (рис.2), который содержит четыре функциональных агрегаций. Левая агрегация представляет «Вход», куда входят не только материальные ресурсы, но и информационные потоки. В самом блоке указан целевой функционал – «кормопроизводство». Правая агрегация блока является выходом процесса, который демонстрирует системный технологический результат, состоящий из готового продукта производства - силоса и сенажа. Нижняя агрегация блока является композицией агентов обеспечения - Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 .



Q_1 – кадровые ресурсы, Q_2 – кормовые ресурсы, Q_3 – технические ресурсы,
 Q_4 – финансовые ресурсы.

Рисунок 2 – IDEF0 - модель контекст процесса кормопроизводства

Данная модель интегрирует в себе все множество ресурсов и инструментов агроинжиниринга на примере процесса кормопроизводства, среди которых, как акцентируется во многих исследованиях - ключевое значение приобретают «Кормовые ресурсы» и система кормопроизводства в целом. Качество кормления КРС определяется рационом кормления и составом ингредиентов в рационе (таб.2).

Таблица 2 – Весомость ингредиентов рациона кормления дойных коров в условиях ОХМК

Ингредиент	m_i	СВ кг/день	КС кг/день
Сено злаковое	m_1	0,4	0,5
Силос кукурузный.	m_2	10,0	33,0
Сенаж люцерны 2024...	m_3	1,26	4,00
Подсолнечниковый ш...	m_4	1.80	2.0
Премикс Каргилл 7469	m_8	0.087	0.100
Соль	m_9	0.099	0.100

Качество кормления контролируется в реальном масштабе времени, и реализовано на платформе «Цифровой двойник» с использованием принципов «Опережающего контроля». В подобном digital-решении, чтобы скорректировать фактор субъективности, предлагается многоподходная технология, использующая композицию из экспертного метода, теории нечетких множеств и нейронного моделирования.

Теория нечетких множеств использована для построения модели агрегированного оценивания качества кормления путем математической свертки результатов количественных, дифференцированных нечетких оценок по лингвистическим показателям – переменным (ЛП). Для количественной свертки дифференцированных оценок привлекается нейронная методология, опирающаяся на принципы и проектно-технологические ресурсы искусственного интеллекта [5,6].

Для нечеткого моделирования были дифференцированные показатели качества кормления КРС, приведенные в таблице 2. Тогда, выше отмеченные ингредиенты кормления в «нечеткой модели» будут фигурировать как «лингвистические переменные» (ЛП). Лингвистическая переменная определяется на поле нечеткости в количественном формате совокупностью термов, которые имеет аналитическую и графическую форму численного определения «степени принадлежности» ЛП.

Области определения ЛП в каждом случае находятся экспериментально. В данном случае область определения идентифицируется в процентном измерении (%), как мера приближения к цели управления. В данной задаче, в результате предварительных исследований нечетких подходов в практических приложениях, было выявлено, что функции принадлежности в общем виде наиболее приемлемы в следующем аналитическом формате:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{d-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

где тройка чисел (a, b, c) определяет форму этих функций.

Результаты нечеткой интерпретации критериев качества ингредиентов кормления представлены в графической форме на следующих рисунках 3-6:

а) $A_1(x)$ – «Сено злаковое»

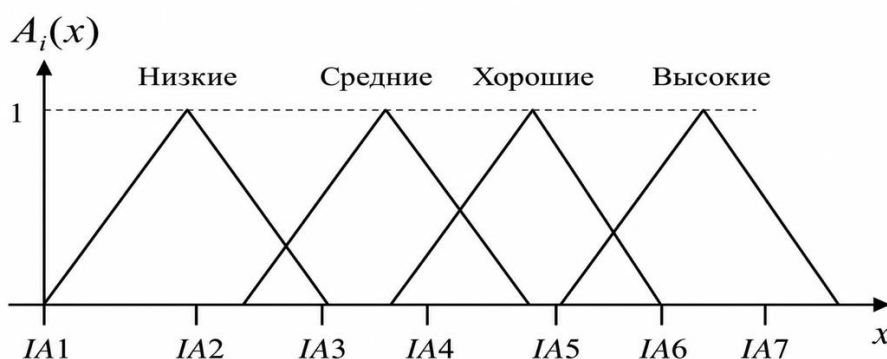


Рисунок 3 – Функции принадлежности лингвистической переменной $A_1(x)$ «Сено злаковое»

б) $A_2(x)$ – «Силос»;

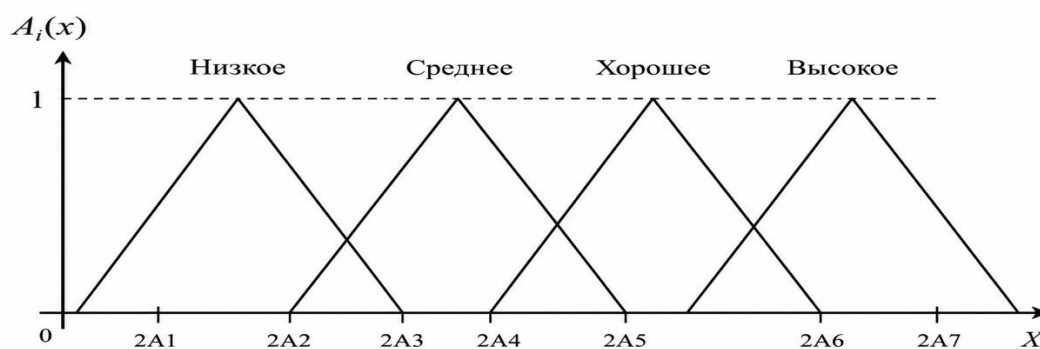


Рисунок 4 – Функции принадлежности ЛП «Силос»

в) $A_3(x)$ – «Сенаж»;

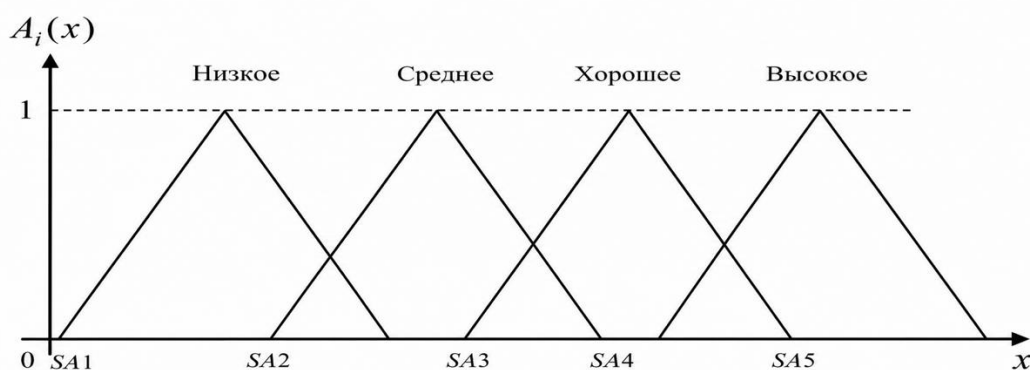


Рисунок 5 – Функции принадлежности (термы) лингвистической переменной «Сенаж» $A_3(x)$

г) $A_4(x)$ – «Шпрот»;

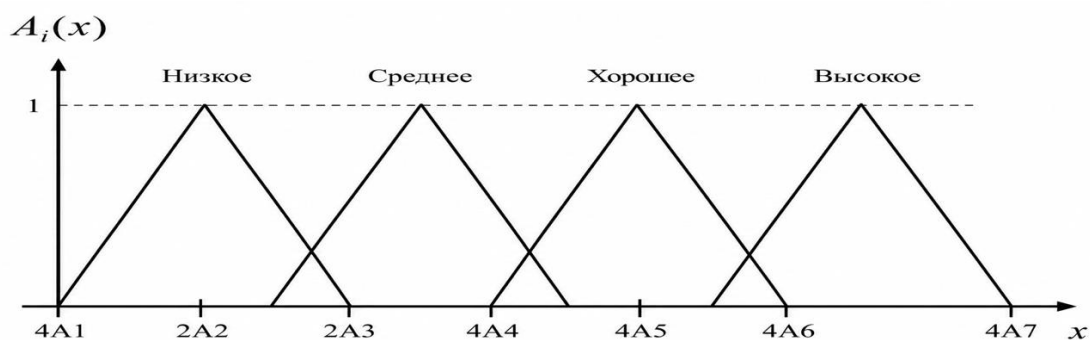


Рисунок 6 – Функции принадлежности (термы) лингвистической переменной «Шпрот» $A_4(x)$

д) $A_5(x)$ – «Премикс»;

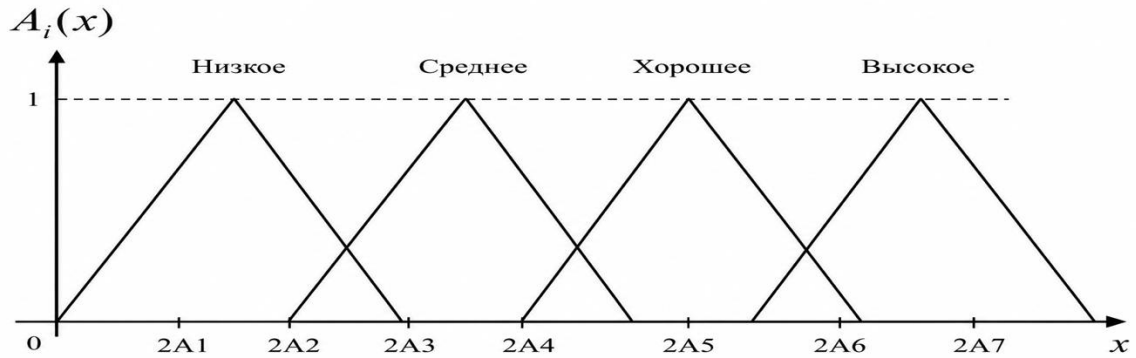


Рисунок 7 – Функции принадлежности (термы) лингвистической переменной «Премикс» $A_5(x)$

е) K_6 – «Соль»;

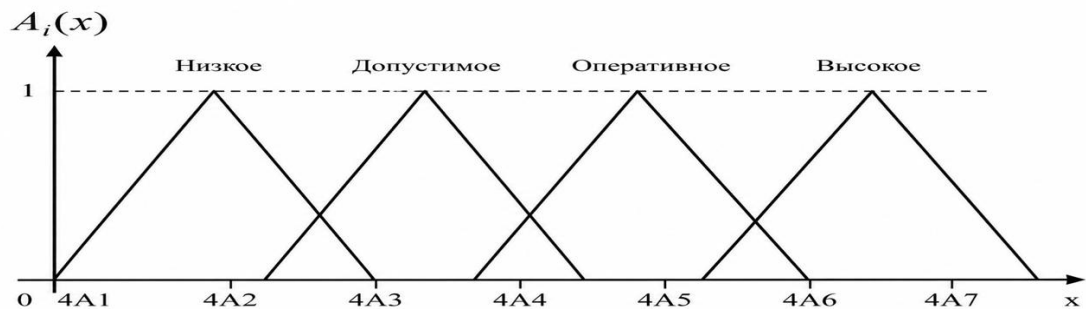


Рисунок 8 – Функции принадлежности (термы) лингвистической переменной «Соль» $A_6(x)$

Для количественного оценивания интегральной оценки (свертки) качества кормления, при имеющихся дифференциальных нечетких измерениях, в работе использовался нейронный подход. Нейронный подход реализован в форме программного digital-решения. Данное программное решение эксплуатируется в реальном масштабе времени. История возникновения термина нейрон, и описание его функциональных свойств начинается в 1943 году, когда Уоррен Мак Каллок и Уолтер Питтс разработали математическую модель нейрона, которая в графической интерпретации представлена рисунком 9 [7].

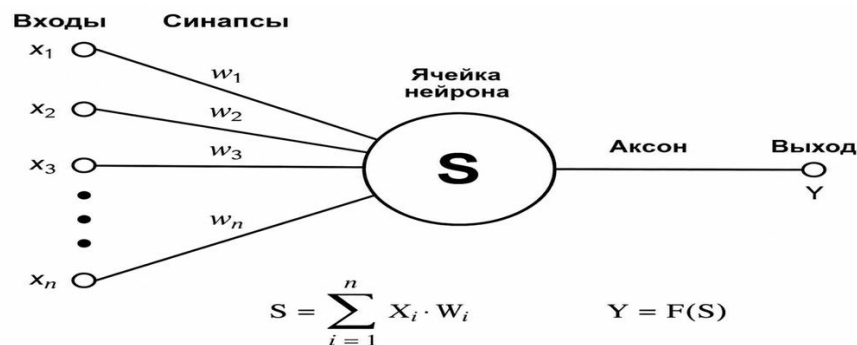


Рисунок 9 – Нейронная модель управления объектом
В рабочей нечеткой модели СМК данные $x_1...x_6$ являются лингвистическими

переменными (ЛП), обозначенными выше. В соответствии методологией нейронного подхода (рис.8). первым этапом осуществляется ранжирование лингвистических переменных по 10-ти бальной системе 6-ю экспертами. Эксперты находятся территориально в разных географических адресах, и экспертное оценивание всех этапов, осуществляется анонимно в режиме онлайн. Реализация данной операции выполняется в первом скрытом нейронном слое.

Второй этап экспертизы предусматривает сбор и обработку анкетной информации по всем экспертам и запускается работа второго скрытого нейронного слоя.

Третьим этапом начинает работать первый открытый нейронный слой, в результате чего формируется массив-таблица (табл. 3.)

Таблица 3 – Результаты экспертно-нейронного оценивания и обработки лингвистических переменных СМК

№ эксперта	ЛП (Ai)					
	A ₁ (x)	A ₂ (x)	A ₃ (x)	A ₄ (x)	A ₅ (x)	A ₆ (x)
1	0,25	0,214	0,357	0,178	0,357	0,357
2	0,241	0,172	0,310	0,275	0,310	0,310
3	0,235	0,264	0,294	0,205	0,294	0,294
4	0,205	0,235	0,264	0,294	0,264	0,264
5	0,2	0,3	0,266	0,233	0,266	0,266
Вес ω_i	0,226	0,237	0,298	0,237	0,298	0,298

Четвертым этапом работает третий скрытый слой и формируется массив весовости термов (Ki1; Ki2; Ki3; Ki4; Ki5; Ki6) размером 4х6. «вес» каждого термина соответствующей лингвистической переменной также, как и «вес» лингвистической переменной, определены нейронно - экспертным методом и представлены в табл. 4.

Таблице 4 – Результаты формирования итоговой экспертно-нейронной обработки

Лингвистические переменные	Вес ЛП ω_i	Вес термов			
		ω_{i1}	ω_{i2}	ω_{i3}	ω_{i4}
Сено злаковое	ω_1	0,053	0,088	0,229	0,306
Силос кукурузный	ω_2	0,254	0,362	0,275	0,108
Сенаж люцерны	ω_3	0,060	0,096	0,205	0,310
Подсолнечниковый шрот	ω_4	0,051	0,098	0,197	0,339
Премикс Каргилл	ω_5	0,042	0,090	0,236	0,328
Соль	ω_6	0,041	0,088	0,208	0,348

Функции принадлежности всех термов ЛП аналитически выражаются формулами (1), которые определяются на поле термов тремя параметрами а, b, с.

Следующим этапом после завершения предыдущих экспертных операций и преобразований, является итоговый количественный расчет интегральной оценки качества кормления исследуемого хозяйствующего субъекта. Показатель качества кормления - K_{Σ} находится по следующим формулам:

$$K_{\Sigma} = (w_1*y_1 + w_2*y_2 + w_3*y_3 + w_4*y_4 + w_5*y_5 + w_6*y_6) / (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6) \quad (2)$$

$$y_i = \omega_{ij} \cdot MF_{ij}(x_i), \quad (3)$$

где ω_{ij} - вес j - го терма i - й лингвистической переменной;
 $MF_i(x_j)$ - функция принадлежности ij - го терма в формуле (3);
 x_i - численное значение i - й лингвистической переменной.

Расчет по формулам (2) и (3) осуществляется в нейронных функционалах второго и третьего открытых слоев, модель которых приведена на рисунках 9 и 10. Во втором слое осуществляется расчет по формуле (3), а в третьем открытом слое расчет осуществляется по формуле (2). Нейронный расчет осуществляется в два акта. Первый акт представлен рисунком 10.

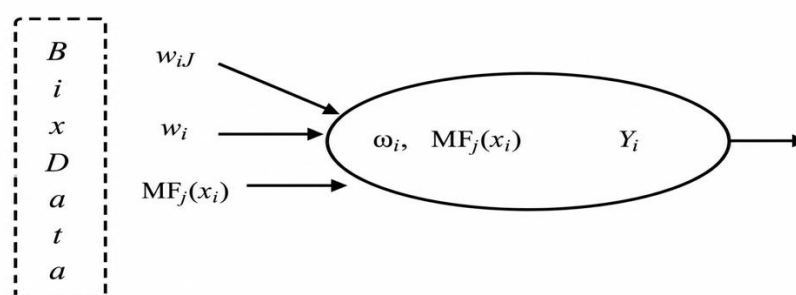


Рисунок 10 – Нейронная модель второго открытого слоя нечеткого расчета

В приведенной модели (рис.9) на ее вход поступает информация из Big Data: $\{w_{ij}\}$; $\{w_i\}$; $\{MF_{ij}(x_i)\}$.

Второй акт расчета представлен рисунком 11.

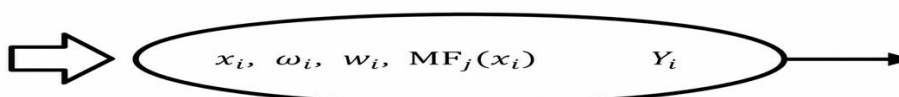


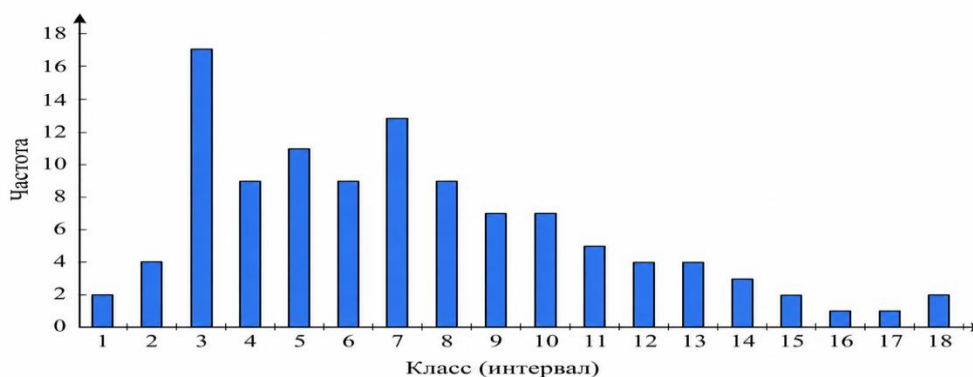
Рисунок 11 – Нейронная модель второго открытого слоя нечеткого расчета

Важное значение, и также мало изученным в новых условиях цифровой трансформации, приобретает система обучения и переквалификации персонала агроинжиниринга в условиях ОХМК. Эксплуатация технологической техники (трактора, комбайны, автомобили, краны) осуществляется в достаточно тяжелых погодных, рельефных и климатических условиях. В данных условиях кроме профессионального уровня работника проявляет себя, так называемый «человеческий фактор», где решающую роль играет «психотип человека». Эти обстоятельства являются крайне важными, представляют большой научно-практический интерес, требуют специального исследования, и в объеме настоящей работы не рассматриваются. В научно-методической

концепции адаптации персонала к требованиям настоящих digital - решений ОХМК, исследуется и эксплуатируется гипотеза подхода к системно-методическим процессам обучения водителей, машинистов-операторов и т.д., как к интегрированной системе менеджмента качества (ИСМК) на базе стандарта ISO 31010.

Для кормления крупного рогатого скота в ОХМК используют корма растительного и животного происхождения. Качество корма в мире принято оценивать его питательностью и энергетическими свойствами. Количество питательных веществ, необходимое животным для нормального развития, здоровья и обеспечения высокой продуктивности «кормовые нормы» рассчитываются в кормовых единицах, где 1 кг корма соответствует некоторому количеству кормовых единиц [1]. В ОХМК среди различных кормов ключевое значение имеют два основных вида - силос и сенаж. Среди полезных ингредиентов, содержащихся в силосе, по своей биологической и энергетической значимости в первую очередь следует выделить «Сырой Протеин» и «Сухое вещество». Поэтому, в качестве примера статистического анализа данных кормопроизводства рассматриваются сырой протеин и сухое вещество.

Первым этапом данные за исторический период, начиная с 2020 г, агрегируются в локальный массив, а затем следует типовая обработка с целью выявления основных статистических характеристик, а также закона распределения. Для выявления закона распределения строится эмпирическая гистограмма, представленная на рисунке 12. Визуальный предварительный анализ данной гистограммы позволяет выдвинуть гипотезу о законе распределения, который наиболее адекватно будет аппроксимировать эмпирические данные. Наиболее близкой теоретической аппроксимацией эмпирических данных в качестве нулевой гипотезы, если исходить из визуального анализа рисунка 12, следует считать закон Вейбулла.



-среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0.5$;

- среднее арифметическое $X_{cp} = 7.5$.

Рисунок 12 – Эмпирическое распределение сырого протеина в силосе

Функция теоретической плотности распределения закона Вейбулла имеет следующий вид:

$$f(S, \beta, \gamma) = \frac{\beta}{\gamma} (S - \gamma)^{\beta-1} e^{-\frac{(S-\gamma)^\beta}{\beta}}, \quad S \geq \gamma, \quad (4)$$

где α - параметр масштаба;

β - параметр формы;

γ - параметр положения.

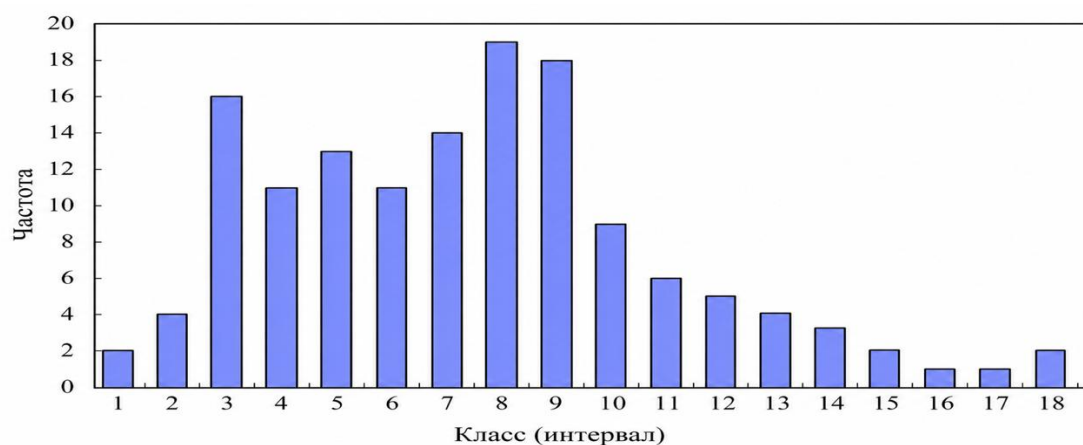
Закон Вейбулла привлекателен в моделирования тем, что имеет аналитическую форму интегрального закона распределения, которая имеет вид:

$$F(X) = 1 - e^{-\frac{(X-\gamma)^{\beta}}{\alpha}} \quad (5)$$

Проверка гипотезы о теоретическом законе Вейбулла была проведена при следующих параметрических данных: параметр положения $\gamma = 6.0$, параметра формы $\beta = 2.5$, параметр масштаба $\alpha = 1.0$.

Аппроксимация эмпирического распределения теоретическим законом Вейбулла, при указанных параметрах показала, что гипотеза о данном законе распределения по критерию Пирсона с доверительной вероятностью 0.95 не отвергается.

Вторым контролируемым агентом в комбикорме является «сухое вещество» (СВ). Исследуя данные лабораторных наблюдений, были выявлены основные статистические характеристики контролируемого показателя и построена эмпирическая гистограмма распределения содержания СВ в силосе, которое наблюдалось в течении годичного периода в ОХМК (рис.13).



где: среднее значение равно 30кг; среднее квадратическое равно 2.0кг.

Рисунок 13 – Эмпирическое распределение сухого вещества (у) в силосе КРС

Аналитическое выражение функции теоретической плотности распределения сухого вещества (у) в силосе имеет следующий вид:

$$f_y(y) = \frac{1}{2.0\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-30)^2}{8}}, \quad (6)$$

σ_y - среднее квадратическое отклонение равно 2.0;

$\bar{Y}_{cp}$ - среднее значение равно 30.

Следующим этапом исследования предусматривается, при известных статистических характеристиках контролируемых параметров, оценить количественно риски производителя и риски потребителя. Для этой цели был использован программный продукт [8]. На базе, приведенных выше статистических материалов и указанного программного приложения, путем компьютерного моделирования, были рассчитаны количественные оценки рисков производителя и потребителя в вероятностном формате. Результаты компьютерного моделирования с целью дальнейшего предиктивного контроля и прогнозирования рисков в системе кормопроизводства для КРС на примерах силоса и сенажа приведены в таблицах 5 - 6.

Таблица 5 – Результаты компьютерного моделирования в оценивании рисков контроля сырого протеина в силосе для КРС

Относительная неопределенность (σ_{ϕ}/σ_x)	Риск контроля сырого протеина в силосе, %			
	$X_{\Pi} = X_{cp} \pm \sigma_x$		$X_{\Pi} = X_{cp} \pm 2\sigma_x$	
	$P_{\text{лб}}$	$P_{\text{нб}}$	$P_{\text{лб}}$	$P_{\text{нб}}$
0.2	5	2	2	4
0.4	12	4	5	7
0.6	16	8	9	10
0.8	21	9	13	13
1.0	29	12	18	16

Таблица 6 – Результаты компьютерного моделирования в оценивании рисков контроля содержания сухого вещества в силосе для КРС

Относительная неопределенность (σ_y/σ_y)	Риск контроля сухого вещества в силосе, %			
	$Y_{\Pi} = Y_{cp} \pm \sigma_y$		$Y_{\Pi} = Y_{cp} \pm 2\sigma_y$	
	$P_{\text{лб}}$	$P_{\text{нб}}$	$P_{\text{лб}}$	$P_{\text{нб}}$
0.2	3	1	2	3
0.4	9	3	4	6
0.6	13	6	8	9
0.8	18	9	11	12
1.0	22	13	17	15

Статистические исследования сенажа на предмет контроля рисков производителя и рисков потребителя осуществляются по методике аналогичной силосу.

Результаты моделирования, приведенные в таблицах 5-6 показывают, что при одинаковых входных статистических и метрологических показателях (неопределенностях) риски производителя ($P_{\text{лб}}$) и риски потребителя ($P_{\text{нб}}$) количественно отличаются почти в два раза, что имеет крайне важное значение в оценке качества конечного молочного продукта.

Заклучение.

Из результатов компьютерного моделирования следует, что контроль на примере кормопроизводства представляет сложную многопараметрическую стохастически-программируемую композицию. В данной композиции результативно интегрируются: статистические параметры и законы распределения измеряемой (контролируемой) величины, статистические параметры и законы распределения погрешности (неопределенности) измерения, величина норматива, которые являются информационной базой для управления рисками агроинжиниринга. Статистические характеристики агентов управления в реальном технологическом процессе кормопроизводства относятся к прецедентным явлениям, на которых строится цифровой двойник. Ежегодные новые производственные показатели ОХМК, после проверки на статистическую однородность, пополняют базу «исторических» данных в системе «больших данных», и модель модифицируется, адаптируясь к новой информационной обстановке, что обеспечивает «обучение» системы.

Список литературы

1. Trujillo, F., Pozo, M., & Suntaxi, G. (2025). Artificial intelligence in education: A systematic literature review of machine learning approaches in student career prediction. *Journal of Technology and Science Education*, 15(1), 162-185. <https://doi.org/10.3926/jotse.3124>

2. Zayed, Y., Salman, Y., & Hasasneh, A. (2022). A Recommendation System for Selecting the Appropriate Undergraduate Program at Higher Education Institutions Using Graduate Student Data. *Applied Sciences*, 12(24), 12525. <https://doi.org/10.3390/app122412525>
3. Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ. Computer science*, 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
4. Gunawardana, A., & Shani, G. (2009). A Survey of Accuracy Evaluation Metrics of Recommendation Tasks. *Journal of Machine Learning Research*, 10(100), 2935–2962. <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume10/gunawardana09a/gunawardana09a.pdf>
5. Matthew J. Page, Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
6. Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering (EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Keele University and Durham University Joint Report.
7. Mahboob K, Asif R, Haider N. (2024). Career planning matters: Intelligence-based career path predictions using data mining models - A longitudinal study. *MEHRAN UNIVERSITY RESEARCH JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY*.43(4):192-213. doi:10.22581/muet1982.3343.
8. Gülten, H., & Baraçlı, H. (2024). A Machine Learning-Based Forecast Model for Career Planning in Human Resource Management: A Case Study of the Turkish Post Corporation. *Applied Sciences*, 14(15), 6679. <https://doi.org/10.3390/app14156679>
9. Fatima N, Gul S, Ahmed J, Khand Z, Mujtaba G. (2022). A rule-based machine learning model for career selection through MBTI personality. *MEHRAN UNIVERSITY RESEARCH JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY*. 41(2):185-196. doi:10.22581/muet1982.2202.18.
10. Cheng Y. (2025). Development of a Career Planning Assistance Platform for College Students Combining Fuzzy Logic and Deep Learning. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. 29(3):445-455. doi:10.20965/jaciii. 2025.p0445.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССТЕРІНІҢ ЦИФРЛЫҚ ЖЕТІЛУІН САПАЛЫҚ БАҒАЛАУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ

Аннотация. Бұл зерттеудің мақсаты - Шығыс Қазақстанда мал азығын өндіруге арналған ауыл шаруашылығы инженериясының сапасын жақсарту. Қазақстанның ауыл шаруашылығы өндірісі жоғары тәуекелді аймақ болып саналады, сондықтан ауыл шаруашылығы өнімдерін өндірушілер мен тұтынушылардың тәуекелдері ауыл шаруашылығы инженериясының сапасының негізгі критерийлері ретінде қолданылады. Бұл міндеттерді осы ғылыми және өндірістік контексте жүзеге асыру, әсіресе аймақтық табиғи, климаттық және географиялық аспектілер тұрғысынан тақырыптық саланың ғылыми тұрғыдан жеткіліксіз зерттелуіне байланысты ерекше қиын. Қазіргі заманғы цифрлық өндірісті басқару жүйелерінде проактивті мониторинг және бақылау өте маңызды. Бұл зерттеу басқаруды ауыл шаруашылығы инженерия жүйесіне айналдыратын жаңа тәсілді зерттейді, онда тәуекелдер бизнес ортасының цифрлық жетілу критерийлері ретінде қарастырылады. Мал шаруашылығында жем сапасы маңызды рөл атқарады, ал жем өндірісінің барлық кезеңдерінде заманауи цифрлық шешімдерді пайдаланбай оны бақылау мүмкін емес. Интегралдық және дифференциалдық форматтардағы сандық жетілу критерийлеріне негізделген басқару процестерін сапалы бағалау үшін бұл мақалада шешім қабылдау сапасын жақсартатын айқын емес басқару агенттерінің принциптеріне негізделген жаңа модель ұсынылады.

Түйін сөздер: ауылшаруашылық инженериясы, жем өндірісі, тәуекел, сандық жетілу, бақылау, модель.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR QUALITICAL ASSESSMENT OF THE DIGITAL MATURITY OF AGROENGINEERING BUSINESS PROCESSES

Abstract. The objective of this study is to improve the quality of agricultural engineering for cattle feed production in Eastern Kazakhstan. Kazakhstan's agricultural production is considered a high-risk area, and therefore, producer and consumer risks of agricultural products are used as key criteria for agricultural engineering quality. Implementing these tasks in this scientific and production context is particularly challenging due to the insufficient scientific study of the subject area, particularly in terms of regional natural, climatic, and geographic aspects. In modern digital production management systems, proactive monitoring and control are crucial. This study explores a new approach that transforms management into an agricultural engineering system, in which risks are considered as criteria for the digital maturity of the business environment. In livestock farming, feed quality plays a crucial role, and monitoring it is impossible without the use of modern digital solutions at all stages of feed production. To qualitatively evaluate control processes based on digital maturity criteria in both integral and differential formats, this paper proposes a new model based on the principles of fuzzy control agents, which improves the quality of decision-making.

Keywords: agricultural engineering, feed production, risk, digital maturity, control, model.

Авторлар туралы мәлімет

Абитаев Фарид Кумашевич	8D07106 – Автоматтандыру және басқару білім беру бағдарламасының докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті; Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: ohmk7@mail.ru
Азаматов Бағдат Нурланович	PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан, Email: azamatovy@mail.ru
Корнев Вячеслав Андреевич	т.ғ.к., доцент., Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан E-mail: kornev_01.01@mail.ru
Алибекқызы Карлыгаш	PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Жанбосинов Рустам Ерланович	8D07105 – Жылуэнергетика білім беру бағдарламасының докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті; Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: rustam.zhanbossinov@gmail.com

Сведение об авторах

Абитаев Фарид Кумашевич	Докторант образовательной программы 8D07106 – Автоматизация и управление, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: ohmk7@mail.ru
Азаматов Бағдат Нурланович	PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, Email: azamatovy@mail.ru
Корнев Вячеслав Андреевич	к.т.н., доцент., Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: kornev_01.01@mail.ru
Алибекқызы Карлыгаш	PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Жанбосинов Рустам Ерланович	Докторант образовательной программы 8D07105 – Теплоэнергетика, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: rustam.zhanbossinov@gmail.com

Information about authors

Abitaev Farid	PhD student of the educational program 8D07106 - Automation and control, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: ohmk7@mail.ru
Azamatov Bagat	PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: azamatovy@mail.ru
Kornev Vyacheslav	c.t.s., associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: kornev_01.01@mail.ru
Alibekkyzy Karlygash	PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Zhanbosinov Rustam	PhD student of the educational program 8D07105 - Thermal power engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: rustam.zhanbossinov@gmail.com