

Построение СППР на основе онтологии молочного производства

С.С. Акимов, И.П. Болодурина

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Федеральный научный центр биосистем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия

Аннотация

Цель работы – построение и реализация системы поддержки принятия решений (СППР) в молочном производстве на основе формализованных математических моделей и онтологического подхода. Проведена декомпозиция процесса производства молочной продукции, выделены основные влияющие на него факторы, а также взаимосвязи между ними. Сформирована онтология предметной области, которая представлена в виде концептуальной схемы и иерархии классов. Для описания последовательности влияния факторов и выявления управляющих воздействий разработана схема Исикавы для производства молочной продукции. Предложено формализованное описание эффективности процесса молочного производства. Разработана СППР для производства молочной продукции, включающая учёт факторов, связанных с сортом и видом кормовых растений, способами и методами посева семян, предпосевной подготовкой, классом и типом почв, агроклиматическими показателями, внесением удобрений, классом животных и кормовыми добавками.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, молочное производство, декомпозиция, онтология, схема Исикавы, формализация.

Цитирование: Акимов, С.С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С.С. Акимов, И.П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(29). – С. 64-75. – DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-64-75.

Введение

Постоянный рост потребления молока и молочных продуктов диктует требования к интенсивному развитию молочного производства. Деятельность животноводческого хозяйства можно рассматривать как производственную функцию, максимизация которой является его основной целью. Для достижения данной цели следует организовать эффективное управление деятельностью животноводческих хозяйств с учётом ключевых факторов, оказывающих непосредственное влияние на продуктивность отрасли. Под продуктивностью понимается производство молока в абсолютных показателях, которое имеет прямую зависимость от показателей кормовой базы и общего состояния животных.

Задача управления деятельностью хозяйства в молочном производстве включает в себя разнородные и разноформатные данные, описание которых возможно с применением онтологического инжиниринга. Обработка и анализ таких данных могут быть осуществлены при помощи современных интеллектуальных технологий, объединённых в систему поддержки принятия решений (СППР).

Цель работы – построение и реализация СППР в молочном производстве на основе формализованных математических моделей и онтологического подхода.

1 Состояние и перспективы предметной области

В последние годы в России отмечается рост агропромышленного производства. Это связано с целым рядом факторов, имеющими под собой экономические, политические и даже

глобальные климатические причины [1-4]. Согласно Доктрине продовольственной безопасности [5], нижняя граница молочного производства внутри страны должно составлять не менее чем 90%, тогда как этот показатель составляет около 80%.

Аналитический центр СОЮЗМОЛОКО выделяет такие проблемы, как низкая инвестиционная привлекательность данной отрасли, низкая продуктивность и товарность производства молока [6]. Отмечается также снижение посевных площадей под кормовые культуры, несмотря на то, что Министерство сельского хозяйства прогнозировало их рост [7]. Вместе с тем молочное производство в России имеет весомый потенциал для наращивания объёмов производства [8].

Для увеличения эффективности сельского хозяйства необходимо использование возможностей современной цифровой экономики, что предполагает внедрение новых информационных технологий и освоение инновационных решений [9].

В настоящее время наиболее перспективной разработкой представляется система «умного сельского хозяйства» на основе комплексности используемых решений [10], включающей такие методы, как дистанционный сбор данных с полей [11], средства дистанционного зондирования земли [12], технологии точного земледелия [13].

Большинство решений для сельского хозяйства лежит в области растениеводства [14]. В части применения современных информационных технологий и методов обработки данных в животноводческой сфере обнаруживается множество трудностей [15]. Возможным решением в этой связи является создание цифровых двойников молочного хозяйства. Такой двойник может быть представлен как СППР, позволяющая обеспечить сбор необходимой информации и на основе поступающих данных предлагать готовые решения [16].

2 Декомпозиция процесса молочного производства

Деятельность объекта в области сельского хозяйства включает последовательность операций и принимаемых управленческих решений, выбор которых обеспечивает эффективность предприятий.

Для выявления входящих и исходящих потоков, управляющих воздействий осуществлена декомпозиция процесса молочного производства посредством методологии *IDEF0*. Для формирования контекстной диаграммы А-0 выделены материальные и информационные потоки. Основным элемент рассмотрения задан требованием «произвести молоко». Входящие потоки: племенная продукция – эмбрионы и телята, непосредственно получаемые от коров имеющегося поголовья; корма животных. Выходными данными являются: молочная продукция; воспроизводство животных, необходимое для поддержания поголовья на должном уровне. Управляющими воздействиями являются: федеральные законы, в частности закон «О племенном животноводстве», регулирующий работу животноводческих хозяйств [17]; отраслевые стандарты, положения которых обязательны для исполнения; санитарная служба, осуществляющая надзор; покупатели, запросы которых определяют производственную политику сельскохозяйственного предприятия через формирование требований и покупательских предпочтений.

Важным фактором управления молочным животноводством является бонитировка – индивидуальная оценка каждого животного, способная устанавливать продуктивные и племенные качества изучаемых животных путём оценки их по особому комплексу признаков [18].

Механизмами реализации молочного производства являются: организация молочного производства как целостная система, обеспечивающая работу хозяйства; оборудование, степень использования которого позволяет оптимизировать молочное производство; инфра-

структура, оказывающая влияние на все элементы и стадии молочного производства; финансовые ресурсы как необходимый элемент деятельности фермерского хозяйства.

Контекстная диаграмма A-0 молочного производства приведена на рисунке 1.

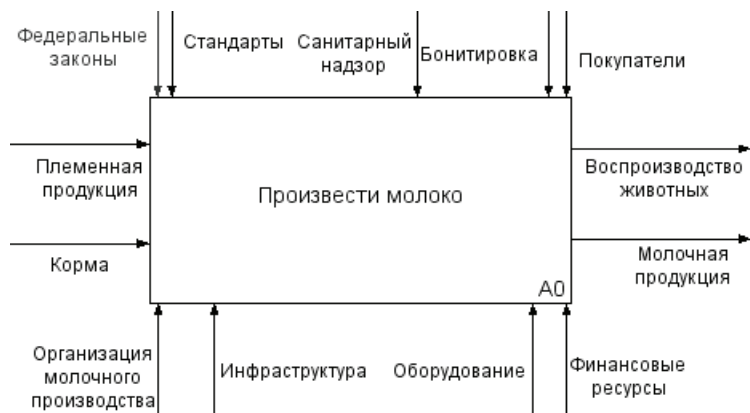


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма A-0 молочного производства

Для подробного представления процесса молочного производства выполнена декомпозиция полученной модели (рисунок 2 и 3). Молочное производство является последовательным сочетанием таких процессов (стадий), как разведение животных, производство молочной продукции и её реализация.

На стадии «Разведение животных» (см. рисунок 2) оказывают влияние все входящие потоки. Выходящим потоком на данной стадии, помимо «Воспроизводство животных», является поток «Животные производители». Поток «Корма» является входом только для стадии разведения, «Племенная продукция» – для первой и второй стадий за счёт обеспечения питания новорождённых телят.

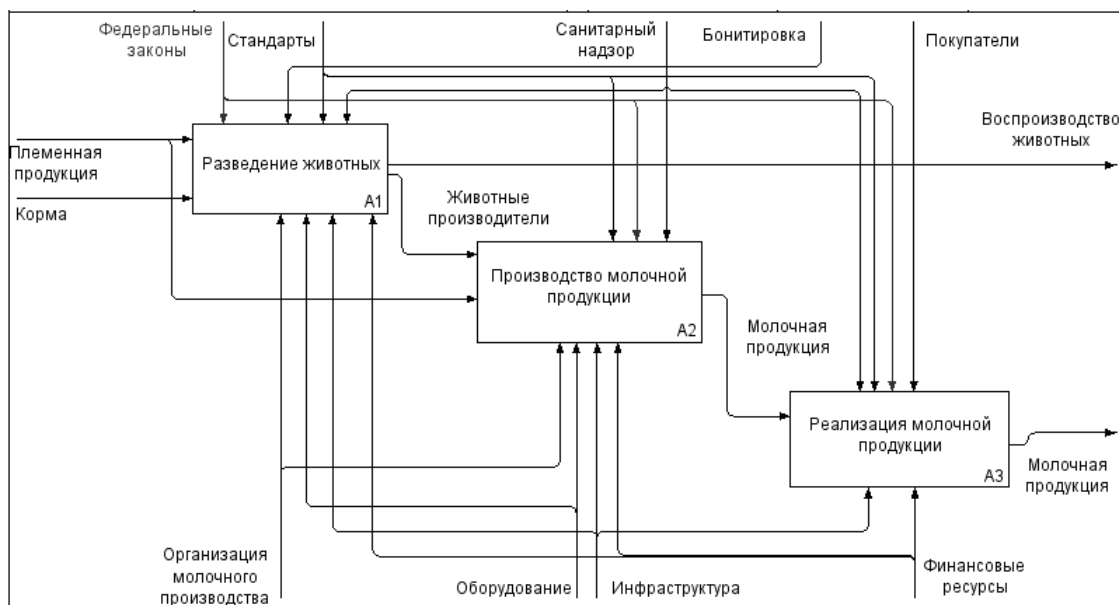


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции A0 молочного производства

Среди управляющих потоков исключительно на стадии «Разведение животных» оказывает влияние бонитировка, поскольку в дальнейших стадиях отбор животных не проводится. Управляющее воздействие «Покупатели» оказывает своё влияние только на стадии «Реализация молочной продукции», при этом процесс организации молочного производства и обо-

рудование оказывают значимое влияние на первых двух стадиях. Выходящим потоком стадии «Производство молочной продукции» является собственно продукция, которая может являться входящим потоком для стадии реализации или миновать данную стадию (например, в случае собственной переработки). Остальные управляющие потоки оказывают влияние на каждой из трёх выделенных стадий.

Ключевой фактор молочного производства – разведение животных (см. рисунок 3). Входящими потоками являются «Племенная продукция» на стадии «Разведение животных», а также «Корма» для питания животных на стадии «Выращивание». Телята отбираются в зависимости от породы и физических характеристик. Такие же показатели учитываются и при откорме животных. Бонитировка, как управляющий поток, оказывает влияние на первой стадии, в дальнейшем, после проведения предварительного отбора, как правило, дополнительные оценки физического состояния животных не проводятся.

Выходящим потоком из стадии «Разведение» является поголовье телят, которые подлежат выращиванию. В результате выращивания образуется поток «Животные производители», являющиеся основой молочного производства в хозяйстве.

Схема декомпозиции A1 представлена на рисунке 3.

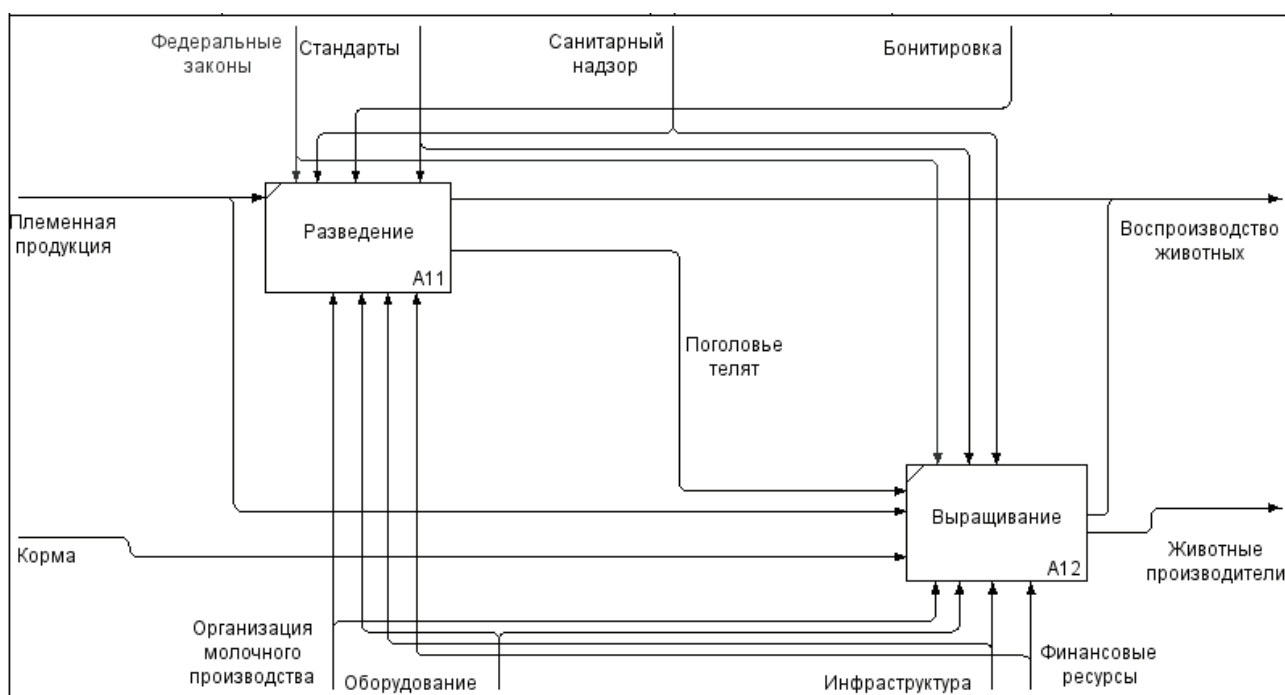


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции A1 стадии разведения животных

Важной составляющей молочного производства является процесс откорма животных [19]. Сбалансированное питание даёт заметный рост надоев – главного показателя, от которого зависит эффективность производства молочного животноводства. Для этого многие хозяйства организуют собственное выращивание и производство кормов, что позволяет им экономить на закупках и сбалансированно подбирать состав рациона питания.

3 Онтология молочного производства

Для разработки онтологии необходимо выявить и записать множества: понятий, отношений между понятиями, функций, описывающих понятия и их отношения. Данные множества выявлены посредством проведения декомпозиции процесса молочного производства. По-

строенные диаграммы (рисунки 2 и 3) позволяют сформировать понятия, отношения и функции онтологии. Концептуальная схема онтологии производства молочной продукции приведена на рисунке 4.

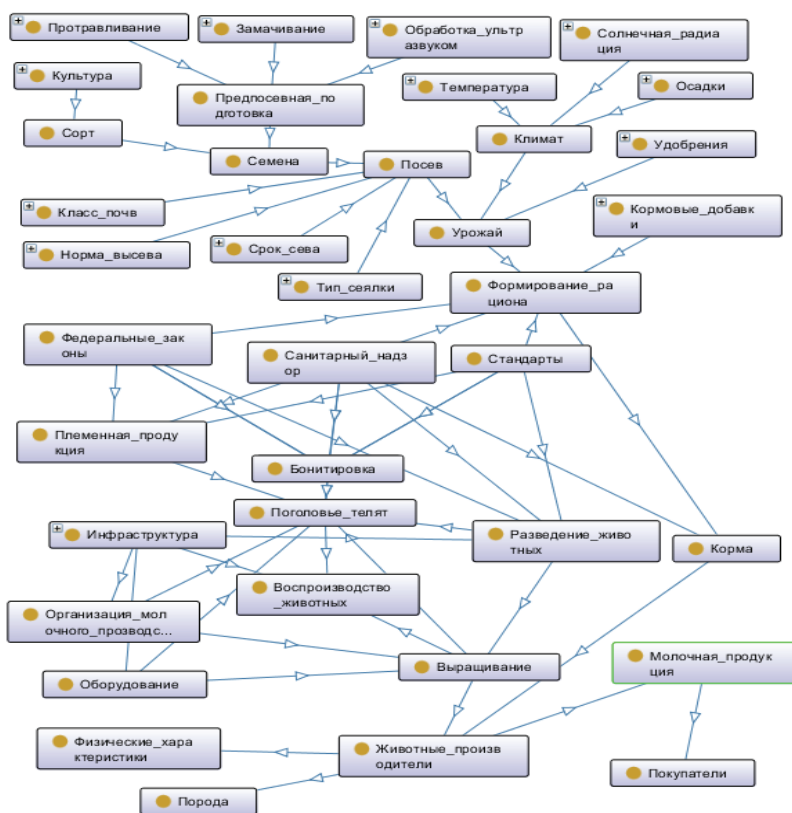


Рисунок 4 – Концептуальная схема онтологии производства молочной продукции

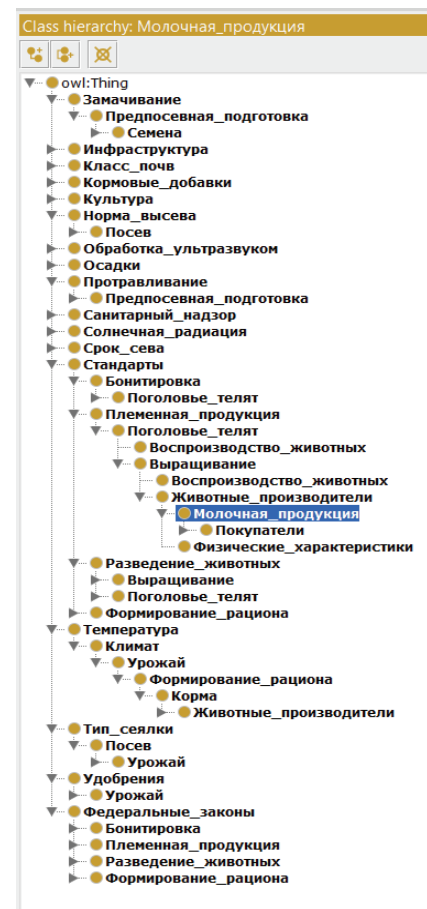


Рисунок 5 – Фрагмент иерархии классов онтологии производства молочной продукции

Понятие «семена» характеризуется атрибутом «культура», который имеет подразделение на подклассы по признаку «сорт». Управляющим воздействием на семена является их обработка перед посадкой, в частности протравливание, а также сроки сева и нормы высева. Почвы характеризуются классом и оказывают влияние на посев (совместно с типом сеялки).

Климат включает в себя температуру, осадки и солнечную радиацию. Урожай формируется посевом, климатом и удобрениями, которые имеют свой вид. На виды также подразделяются кормовые добавки, которые вместе с урожаем формируют рацион кормов.

Наиболее распространенной моделью представления онтологий и сложно-структурированных данных являются семантические сети. Создание онтологии позволяет выявить и учесть разнородные факторы, оказывающие влияние на процессы или параметры. Анализ всех возможных сочетаний параметров создаёт возможность для оптимизации производственных процессов и увеличения эффективности производства молочной продукции.

Структура классов показывает стадию реализации каждого фактора, обеспечивающего вклад в итоговый результат. Некоторые классы содержат подклассы, которые в совокупности формируют структуру и связи между всеми объектами онтологии.

Фрагмент иерархии классов построенной онтологии отображен на рисунке 5.

Созданная онтология позволила выделить основные понятия, применяемые при описании процесса молочного производства, и отношения между ними. Для большей наглядности

с точки зрения управления процессом производства полученная онтология преобразована в набор причинно-следственных связей посредством построения схемы Исикавы [20]. Схема Исикавы позволяет совместить все действующие потоки и управляющие воздействия в единое целое (см. рисунок 6).

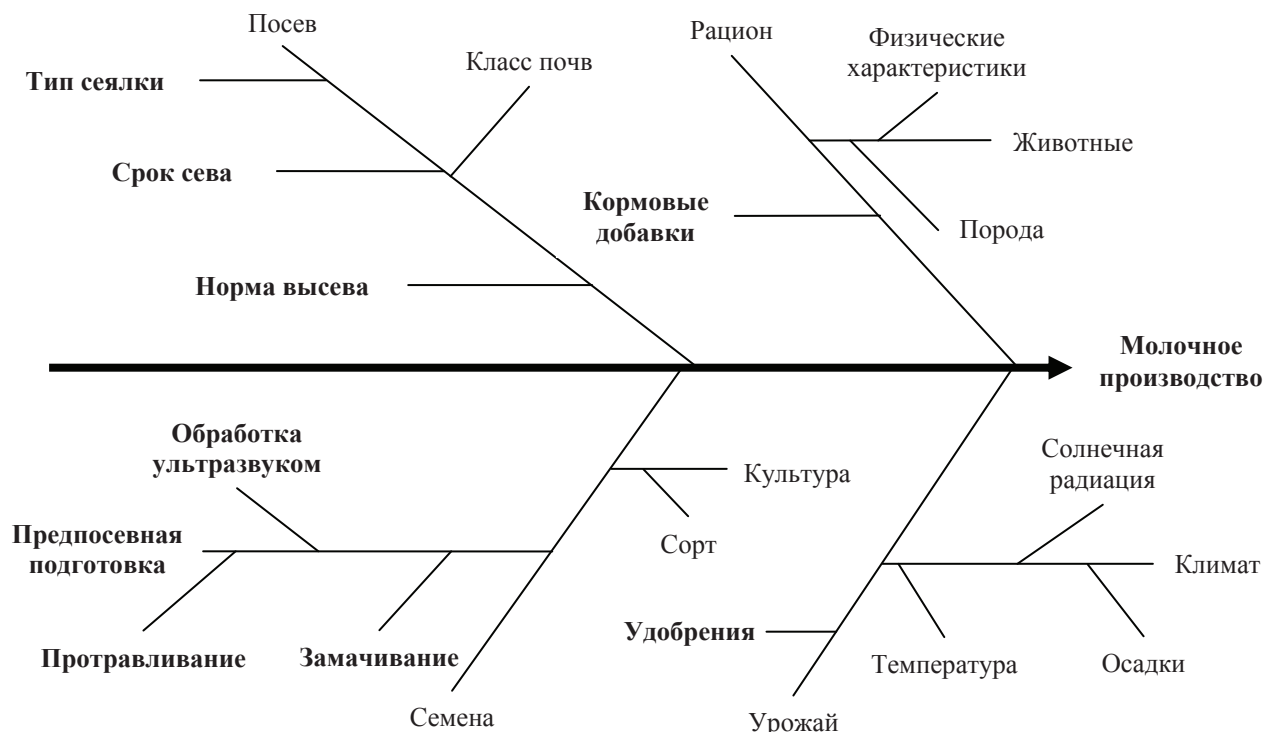


Рисунок 6 – Схема Исикавы, отображающая процесс молочного производства

На рисунке 6 обычным шрифтом обозначены входящие потоки, жирным – потоки управления. Учтена последовательность появления конкретных факторов и их влияния на итоговый результат – факторы оказывают своё действие слева направо, по направлению центральной стрелки. Полученная схема даёт представление о том, какие факторы и в какой последовательности оказывают своё влияние, при этом учитываются и управленческие воздействия на итоговый результат.

4 Формализованное описание эффективности процесса молочного производства

Для формализованного описания влияния факторов на экономическую эффективность, для оценки вклада каждого из них и для расчёта величины управляющих воздействий необходимо построить математическую модель оценки влияния комплексированных факторов на деятельность молочного хозяйства.

Пусть $J = \{j_1, j_2, \dots, j_{\alpha}\}$ – число видов кормовых культур, которые могут быть употреблены животными в качестве пищи. Каждая кормовая культура имеет разные сорта, пусть $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{\beta}\}$ – число сортов кормовых культур. Тогда совокупность кормовых культур разных сортов можно представить как J^L .

Фактором воздействия на семена является их предварительная подготовка (протравливание, предпосевная подготовка) перед посадкой, а также различные формы высева (сроки сева, нормы высева). Необходимо учитывать и типы сеялок, которые также оказывают влияние на урожайность. Пусть $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{\delta}\}$ – совокупность вариантов предварительной подго-

товки семян и форм посева. Тогда совокупность всех посевов X может быть отображена следующей зависимостью:

$$X = F(J^L, H) \quad (1)$$

Ключевым фактором выращивания урожая является почва. Пусть $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – совокупность классов почв. Тогда совокупность засеянных определёнными культурами определённых сортов при определённых формах посева почв, обработанных определённым образом, можно представить в виде следующей зависимости:

$$S = F(X, V) \quad (2)$$

Урожайность можно представить как объём выращенных культур на единице площади. На урожайность существенное влияние оказывают климатические факторы (температура, осадки, солнечная радиация и т.д.) Пусть $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ – количество климатических факторов, способных оказывать влияние на урожай. Управляющим воздействием на урожайность являются удобрения. Удобрения характеризуются составом, однако в аграрной практике, как правило, используется несколько видов удобрений со сходным составом. Пусть $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – различные виды удобрений. Тогда урожайность U с площади S можно отобразить равенством:

$$U = F(S, K, Q) \quad (3)$$

Важнейшей составляющей животноводческого предприятия является рацион питания животных. Помимо выращенного или закупленного урожая, в кормовом обеспечении почти всегда применяются кормовые добавки. Пусть $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – различные виды кормовых добавок. Тогда рацион питания E можно отобразить равенством:

$$E = F(U, W) \quad (4)$$

Животные могут принадлежать к разным породам, иметь различный класс развития. Пусть $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ – совокупность характеристик животных, включающих в себя породу и физические характеристики. Тогда совокупность животных Y разных пород и физических характеристик можно представить как Y^0 .

Эффективность молочного хозяйства состоит в прямой зависимости от продуктивности животных. Эффективность Z можно выразить следующим равенством:

$$Z = F(Y^0, E) \quad (5)$$

Отличительной особенностью данного уравнения является то, что оно позволяет обрабатывать совокупности разноформатных данных и получать итоговый результат влияния комплексированных факторов.

Объединение в модели всех перечисленных факторов приводит к следующей оценке эффективности молочного производства:

$$Z = \mu + aJ^L + bH + cV + dK + eQ + fW + gY^0 \rightarrow \max, \quad (6)$$

где μ – математическое ожидание размера надоев молока; a, b, c, d, e, f, g – коэффициенты при соответствующих факторах, оказывающих влияние на производство молока.

Подобная модель предполагает расчёт ключевых статистических показателей по каждому из факторов. Для этого были сформированы соответствующие базы данных для каждого показателя. Расчёт строится на корреляционном взаимодействии объясняющих факторов на итоговый результат и на наличии объясняемой дисперсии рассматриваемых признаков с использованием матричного метода. Для нахождения обратной матрицы используется метод Гаусса. Существующая проблема неинвертируемости матрицы решается добавлением ограничения, при этом, как правило, ограничение накладывают на математическое ожидание μ . Нахождение коэффициентов даёт возможность рассчитать все соответствующие характеристики, в том числе значения управляющих переменных H, Q, W .

Таким образом, оценка взаимного влияния рассмотренных факторов на итоговый результат создаёт возможность построения математических моделей, применение которых позволит определить необходимую степень воздействия на управляемые факторы для достижения максимальной эффективности производства молочной продукции.

5 Разработка СППР для молочного производства

Разработанные модели позволяют осуществлять управление продуктивностью молочного производства. Процесс управления состоит из двух самостоятельных направлений: анализ урожайности кормовых культур и анализ продуктивности молочного производства. Первое направление может быть управляемо посредством изменения таких факторов, как подготовка и высев семян, количество и состав удобрений. Второе направление регулируется данными о животных и составе кормовых добавок.

Обобщённая схема взаимодействия разнородных показателей на итоговую продуктивность даёт возможность разработать СППР для повышения продуктивности молочного производства. Общая схема СППР для лица, принимающего решение (ЛПР - фермера, руководителя хозяйства и т.д.) приведена на рисунке 7.

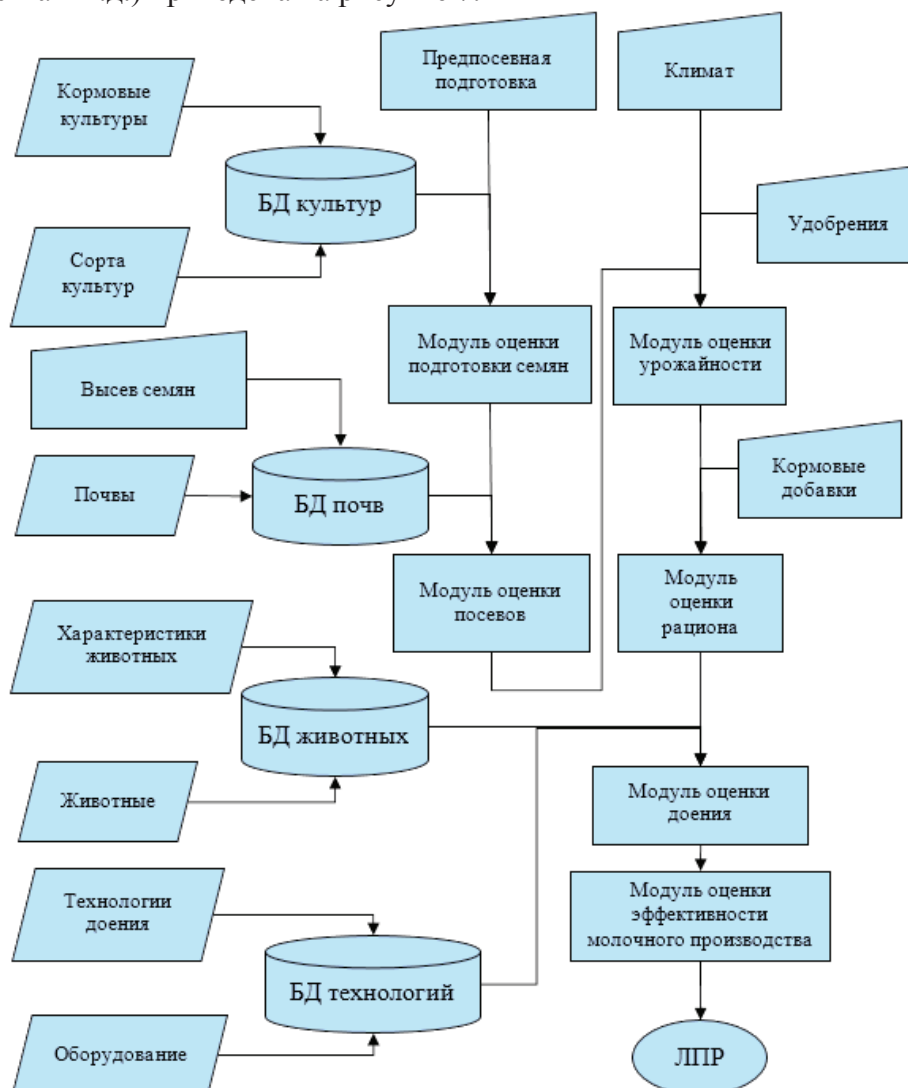


Рисунок 7 – Общая схема СППР для повышения продуктивности молочного производства с точки зрения ЛПР

Реализация разработанной СППР позволяет отслеживать изменения продуктивности молочного производства, анализировать данные, принимать решения об управляющем воздействии, реализуемом посредством внесения дополнительного количества удобрений, регулированием кормовых культур, изменением количества добавок в рационе питания.

Заключение

Проведённая декомпозиция процессов молочного производства позволила создать онтологию, учитывающую важные факторы, влияющие на эффективность такого производства. Практическая ценность представлена в виде формализованных моделей, которые возможно применить при построении современных СППР. Выявление ключевых параметров позволит оказывать управляющее воздействие на комплекс показателей повышения эффективности молочного производства.

Ключевые параметры объединены в уравнение, которое позволяет получать оценки с учётом комплексированных факторов. Предложена схема СППР, позволяющая принимать решения и оказывать управляющие воздействия на процесс молочного производства.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации (НШ-2502.2020.9), а также в соответствии с планом НИР на 2019-2020 годы ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН (№0761-2019-0004).

Список источников

- [1] **Плугов, А.** Российский рынок сельхозсырья и продовольствия - тенденции и прогнозы / А. Плугов // Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya---tendencii-i-prognozy>.
- [2] **Иванов, А.Л.** Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А.Л. Иванов // Земледелие. – 2009. – №1. – С.3-5.
- [3] **Израэль, Ю.А.** Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России / Ю.А. Израэль, О.Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6. – С.5-17.
- [4] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. Москва, 2020. 97 с. <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-rf-2019.pdf>.
- [5] Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm.
- [6] Информационная справка «Молочная отрасль России: текущее состояние и перспективы развития» // Аналитический центр СОЮЗМОЛОКО. – Москва, 2016. 6 с.
- [7] **Дятловская, Е.** В 2019 году посевные площади в России остались на прошлогоднем уровне / Е. Дятловская // Агроинвестор. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/32153-posevnye-ploshchadi-ostalis-na-proshlogodnem-urovne/>.
- [8] **Сафонов, А.Ю.** Развитие молочно-продуктового подкомплекса России / А.Ю. Сафонов // Московский экономический журнал. – 2019. – №9. <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2019-21/?print=print>.
- [9] **Михайленко, И.М.** Математическое моделирование и оценивание химического состояния почвенной среды по данным дистанционного зондирования Земли / И.М. Михайленко, В.Н. Тимошин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – №9-2(75). – С.26-37.
- [10] **Herzog, C.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food / C. Herzog // Whitehat Magazine. Nov 6, 2017. <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food>.
- [11] **Антонов, В.Н.** Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В. Н. Антонов, Л. А. Сладких // Геоматика. – 2009. – № 4. – С.50-53.

- [12] **Барталев, С.А.** Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS / С.А. Барталев, Е.А. Лупян, И.А. Нейштадт и др. // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 3. – С.68-75.
- [13] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения / Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4. – С.423-442. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [14] **Sfiligo, E.** Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now / E. Sfiligo, L. Heacox // *Precision Ag*. August 12, 2016. <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>.
- [15] **Aleshina, E.A.** Agroindustrial clustering as a driver of the activization of breeding work in animal husbandry / E.A. Aleshina, D.V. Serdobintsev, E.I. Anisimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "Earth Science". 2020. C.062018.
- [16] **Болодурина, И.П.** Разработка системы принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства / И.П. Болодурина, С.А. Соловьев, С.С. Акимов // Вестник Южно-Уральского гос. университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2020. Т.20, №2. С.36-44.
- [17] Федеральный закон от 3 августа 1995 г. N 123-ФЗ «О племенном животноводстве (с изменениями на 8 декабря 2020 года)» // СПС Консультант Плюс. <http://www.consultant.ru/>.
- [18] Большой энциклопедический словарь: [А – Я] / Гл. ред. А. М. Прохоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая рос. энцикл.; СПб.: Норинт, 1997. 1408 с.
- [19] **Lialina, N.** Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2018. V. 4. N 1. P.109-119.
- [20] **Pérez-Piñeiro, P.** Agrobacterium-Mediated Transformation of Wheat: General Overview and New Approaches to Model and Identify the Key Factors Involved / P. Pérez-Piñeiro, J. Gago, M. Landin, P. Gallego. In book: *Transgenic Plants – Advances and Limitations*. P.3-26.

Сведения об авторах



Акимов Сергей Сергеевич, 1986 г. рождения. Окончил Российский государственный торгово-экономический университет (ныне РЭУ им. Плеханова) в 2008 году, в 2016 году - Оренбургский государственный университет (ОГУ). Старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах ОГУ, научный сотрудник ФНЦ БСТ РАН. ORCID: 0000-0003-4444-9945. AuthorID (RSCI): 631591; AuthorID (Scopus): 57191544067. sergey_akimov_work@mail.ru.

Болодурина Ирина Павловна, 1971 г. рождения. Окончила Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского в 1993 году по специальности "Прикладная математика". С 2000 года возглавляет кафедру прикладной математики ОГУ, в 2003 году защитила докторскую диссертацию, а в 2009 году получила звание профессора. Является членом учёного, научно-методического и редакционно-издательского советов математического факультета. ORCID: 0000-0003-0096-2587; AuthorID (RSCI): 118837; AuthorID (Scopus): 55809754500. ipbolodurina@yandex.ru.



Поступила в редакцию 05.02.2021, после рецензирования 06.03.2021, Принята к публикации 19.03.2021.

DSS construction based on the ontology of dairy production

S.S. Akimov, I.P. Bolodurina

Orenburg State University, Orenburg, Russia

Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the RAS, Orenburg, Russia

Abstract

The purpose of the work is to build and implement a decision support system (DSS) in dairy production based on formalized mathematical models and an ontological approach. The decomposition of the process of dairy production is carried out; the main factors influencing it and the relationship between them are highlighted. The ontology of the subject area has been formed, which is presented as a conceptual scheme and a class hierarchy. To describe the sequence of the influence of factors and identify control actions, the Ishikawa scheme for the production of dairy products has been developed. A formalized description of the efficiency of the dairy production process is proposed. A DSS has been developed for the production of dairy products, taking into account the factors associated with the variety and type of forage plants, methods of sowing seeds, pre-sowing preparation, class and type of soil, agro-climatic indicators, fertilization, class of animals and feed additives.

Key words: decision support system, dairy production, decomposition, ontology, Ishikawa scheme, formalization

Citation: Akimov SS, Bolodurina IP. DSS construction based on the ontology of dairy production [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 64-75. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-64-75.

Acknowledgment: The research was carried out with the support of the grant of the President of the Russian Federation for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation (NSh-2502.2020.9), as well as in accordance with the research plan for 2019-2020 FGBNU Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0761-2019 -0004).

List of figures

Figure 1 - Context diagram A-0 of dairy production

Figure 2 - Diagram of decomposition A0 of dairy production

Figure 3 - Diagram of decomposition A1 of the animal breeding stage

Figure 4 - Conceptual diagram of the ontology of dairy production

Figure 5 - Fragment of the hierarchy of the ontology classes for the production of dairy products

Figure 6 - Ishikawa diagram showing the dairy production process

Figure 7 - General DSS scheme for increasing the productivity of dairy production from the point of view of decision makers

References

- [1] **Plugov A.** Russian market of agricultural raw materials and food. Trends and forecasts [In Russian]. Expert-analytical center of agribusiness "AB-Center". <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya---tendencii-i-prognozy>.
- [2] **Ivanov AL.** Global climate change and its impact on agriculture in Russia [In Russian]. *Agriculture*. 2009; 1: 3-5.
- [3] **Israel YA, Sirotenko OD.** Modeling the climate change impact on the productivity of agriculture in Russia [In Russian]. *Meteorology and Hydrology*. 2003; 6: 5-17.
- [4] Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019 [In Russian]. Moscow, 2020. 97 p. <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-rf-2019.pdf>
- [5] Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 "On the approval of the Doctrine of food security of the Russian Federation" [In Russian]. www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm.
- [6] Information note "Dairy industry in Russia: current state and development prospects" [In Russian]. Analytical center SOYUZMOLOKO. Moscow, 2016. 6 p.

- [7] **Dyatlovskaya E.** In 2019, the sown area in Russia remained at the last year's level [In Russian]. *Agroinvestor*. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/32153-posevnye-ploshchadi-ostalis-na-proshlogodnem-urovne/>
- [8] **Safonov AY.** Development of the dairy-food subcomplex of Russia [In Russian]. *Moscow Economic Journal*. - 2019. - No. 9. <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2019-21/?print=print>.
- [9] **Mikhailenko IM, Timoshin VN.** Mathematical modeling and assessment of the chemical state of the soil environment according to the data of remote sensing of the Earth [In Russian]. *International research journal*. 2018; 9-2 (75). 26-37.
- [10] **Chrisella Herzog.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food. Nov 6, 2017 - <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food>.
- [11] **Antonov VN, Sladkikh LA.** Monitoring of the state of crops and forecasting the yield of spring wheat according to remote sensing data [In Russian]. *Geomatics*. 2009; 4: 50-53.
- [12] **Bartalev SA, Lupyan EA, Neishtadt IA et al.** Classification of some types of agricultural crops in the southern regions of Russia according to MODIS satellite data [In Russian]. *Earth research from space*. 2006; 3: 68-75.
- [13] **Borgest NM, Budaev DV, Travin VV.** Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 423-442. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [14] **Sfiligo E, Heacox L.** Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now. August 12, 2016. - <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>.
- [15] **Aleshina EA, Serdobintsev DV, Anisimova EI.** Agroindustrial clustering as a driver of the activation of breeding work in animal husbandry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". – 2020. – C. 062018.
- [16] **Bolodurina IP, Soloviev SA, Akimov SS.** Development of a decision-making system for increasing the productivity of dairy farming [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University*. Series: Computer technology, control, electronics, 2020; 20(2): 36-44.
- [17] Federal Law of August 3, 1995 N 123-FZ "On livestock breeding (as amended on December 8, 2020)" [In Russian]. SPS ConsultantPlus. <http://www.consultant.ru/>.
- [18] Big Encyclopedic Dictionary: [A - Z] [In Russian]. Ch. ed. A.M. Prokhorov. - 2nd ed., Rev. and add. Moscow: Big ros. encyclical.; SPb.: Norint, 1997. 1408 p.
- [19] **Lialina N.** Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2018; 4(1): 109-119.
- [20] **Pérez-Piñeiro P, Gago J, Landin M, Gallego P.** Agrobacterium-Mediated Transformation of Wheat: General Overview and New Approaches to Model and Identify the Key Factors Involved. In book: *Transgenic Plants – Advances and Limitations* (pp.3-26).

About the authors

Sergey Sergeevich Akimov, born in 1986. In 2008 he graduated from the Russian State University of Trade and Economics (now Plekhanov Russian University of Economics) with a degree in Economics and Enterprise (Trade) Management, and in 2016 he got a degree in Management in Technical Systems from Orenburg State University (OSU). Senior Lecturer of the Department of Management and Informatics in Technical Systems of OSU, Researcher of the FSC BST RAS. ORCID: 0000-0003-4444-9945. Author ID (RSCI): 631591; Author ID (Scopus): 57191544067. sergey_akimov_work@mail.ru.

Irina Pavlovna Bolodurina, born in 1971. Graduated from the Saratov State University in 1993 with a degree in Applied Mathematics. Since 2000, she has been the head of the Department of Applied Mathematics of OSU, in 2003 she defended her doctoral dissertation, and in 2009 she received the title of professor. Irina is the author of many teaching aids. She is a member of the scientist, scientific-methodological and editorial-publishing councils of the Faculty of Mathematics of OSU. ORCID: 0000-0003-0096-2587; Author ID (RSCI): 118837; Author ID (Scopus): 55809754500. ip-bolodurina@yandex.ru.

Received February 5, 2021. Revised March 6, 2021. Accepted March 19, 2021.