

УДК 004.42:636.084.41

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-97-104

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЦИОНОВ  
КОРМЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ*Р. М. Гараев*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия*В. В. Ковалевский*, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия*С. В. Вологдин*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова,  
Ижевск, Россия

*Данное исследование направлено на решение важной проблемы сельскохозяйственного производства и животноводства, в частности – оптимизация рационов крупного рогатого скота для повышения продуктивности и уменьшения затрат предприятия. Использование информационных систем при составлении рациона поможет ускорить сам процесс составления и сократит до минимума стандартные ошибки, допускаемые специалистом зоотехником, что благоприятно повлияет на качество и количество получаемой продукции. Были проведены исследования существующих информационных систем оптимизации рационов животных, выявлены их недостатки. Для формирования требований и оценки существующих систем выбрана модель качества ISO 9126. Разработана математическая модель задачи оптимизации рационов корма животных на основе задачи линейного программирования, которая заключается в минимизации целевой функции по стоимости составляемого рациона с ограничениями по показателям общей питательности. В основе разрабатываемого прототипа приложения заложена функциональная модель, разработанная с использованием методологии IDEF0, которая определяет основные функции системы: обработка запросов пользователя и предоставление необходимой информации по кормам и нормам животных; создание рационов для животных по заданным параметрам; пересчет рациона с учетом изменений, внесенных пользователем; анализ рациона и предоставление рекомендаций по его оптимизации. Описано взаимодействие подключаемых библиотек. Описаны методы разработки алгоритмов взаимодействия с пользователем. Для создания интерфейса выбраны способы проектирования – «Ориентированное на пользователя проектирование» и «Человекоориентированное проектирование». Таким образом, при реализации задач данного исследования будет решена проблема оптимизации рациона животных.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение, оценка качества, интерфейс пользователя, животноводство, кормление животных, составление рационов, IDEF0.

**Введение**

Сельское хозяйство является важной отраслью экономики, обеспечивающей население продуктами питания и сырьем отрасли перерабатывающей промышленности. Животноводство, и скотоводство в частности, является активно развивающейся отраслью сельского хозяйства [1]. Данная отрасль не является популярной среди разработчиков программного обеспечения, так как большинство животноводческих предприятий обладают сравнительно небольшой рентабельностью, с чем связан постоянный режим экономии денежных средств.

Информационные системы и технологии позволяют автоматизировать процессы, повышают эффективность и производительность труда. Существующие информационные системы для животноводческой отрасли не обладают всеми необходимыми

функциями, необходимыми специалистам, либо являются крайне неудобными в использовании. Работающие на производстве специалисты отмечают нехватку удобных инструментов работы с данными и автоматизации деятельности [2].

Использование при составлении и балансировании рационов кормления компьютерных программ (информационных систем) предполагает замену метода «последовательного приближения», применяемого специалистами при расчете рационов «вручную», на симплекс-метод.

Информационные системы следует рассматривать как инструменты, а не как готовые решения для составления рационов. Каждая из информационных систем имеет свою логику работы в ней, которая не всегда позволяет даже опытному специалисту эффективно ее использовать. На практике

пользователь может сталкиваться с рядом проблем, одна из которых – рациональное использование имеющегося количества кормов в хозяйстве.

### Методика исследований

Перед изучением существующих систем были сформулированы общие требования к функциональности приложения оптимизации рационов кормления животных и выбрана модель качества.

Модели качества, которые имеются в настоящее время, в большинстве случаев являются иерархическими моделями на основе критериев качества и связанных с ними показателей (метрик). Все модели качества могут быть разделены на три категории в

соответствии с методами, на основе которых они были созданы. К первому виду можно отнести теоретические модели, основанные на гипотезе отношений между переменными качества. Ко второму виду относятся модели «управления данными», основанные на статистическом анализе. И наконец, комбинированная модель, в которой интуиция исследователя используется для определения нужного вида модели, а анализ данных используется для определения констант модели качества.

Для формирования требований и оценки существующих систем была выбрана модель качества ISO 9126 (рис. 1).



Рис. 1. Факторы и атрибуты внешнего и внутреннего качества программного обеспечения в соответствии с ISO/IEC 9126

Качество программного обеспечения определяется в стандарте ISO 9126-1 [3] как всякая совокупность его характеристик, относящихся к возможности удовлетворять высказанные или подразумеваемые потребности всех заинтересованных лиц. Модель качества ISO 9126-1 различает следующие понятия качества:

– внутреннее качество, связанное с характеристиками программного обеспечения самого по себе, без учета его поведения;

– внешнее качество, характеризующее программное обеспечение с точки зрения его поведения, в том числе качество программного обеспечения при использовании в различных контекстах при конкретных сценариях работы программно-инструментальных средств [4].

### Основная часть

На сегодняшний день многие животноводческие предприятия имеют опыт использования программных продуктов. Анализ современного рынка программного обеспе-

чения для составления рационов питания животных показывает [5–8], что наиболее популярными программными продуктами на российском рынке являются:

- «Кормовые рационы» (ООО «РЦ «Плинор», Ленинградская область);
- «Коралл-Кормление КРС» (г. Москва);
- «Корм Оптима» (ООО «КормоРесурс», г. Воронеж);
- «Дайри Рацион» (Byhead solutions UG, Германия);
- «DairyPlan» (GEA Farm Technologies GmbH, Германия);
- «Bestmix» (ADIFO N.V., Голландия).

Для выявления основных проблем с работой существующих информационных систем оптимизации рационов были определены ос-

новные пользовательские параметры: удобный, интуитивно понятный интерфейс; просмотр и редактирование имеющихся кормов; покупка кормов и работа с поставщиками; создание нового корма с автоматизированным расчетом показателей; создание и сохранение рационов; эффективность рассчитанных рационов; анализ рационов; планирование кормления; сохранение и печать отчетов.

Были проведены исследования функционала существующих программ и выведена оценка качества по каждому продукту и показателю качества. Результат сравнительного анализа программных продуктов, проведенный в соответствии с методологией ISO 9126, представлен в табл. 1.

**Таблица 1. Качество существующих программных продуктов в области разработки рационов питания животных**

Название программы	Удобство использования (1–5)	Производительность (1–5)	Функциональность (1–5)	Удобство сопровождения (1–5)	Цена
Кормовые рационы	2	3	3	3	53 тыс. руб.
Коралл-Кормление КРС	2	2	3	2	72 тыс. руб.
Корм Оптима	3	4	3	4	113 тыс. руб. + ежегодное обновление 18 тыс. руб.
HYBRIMIN Futter 5	3	4	3	4	130 тыс. руб.
Дайри Рацион	4	3	2	4	41,3 тыс. руб. в год

Основываясь на полученных данных при изучении существующих программ и исходя из перечисленных параметров, можно сделать вывод о том, что существующие программы не отвечают всем пользовательским требованиям.

Составление рациона в таких приложениях требует значительных временных затрат. Это обусловлено тем, что при каждом запуске пользователю необходимо заново указывать все параметры животного и выбирать корма. При этом программой неудобно пользоваться, так как она построена

по сложной логике и не имеет интуитивно понятного интерфейса.

Стоит учесть тот факт, что программы конкурентов требуют немалых затрат, таких как финансы предприятия и, что самое главное, времени. Минимальная стоимость на рынке одного пакета приложения составляет порядка 55 тыс. руб. Также дополнительно необходимо приобрести курс обучения сотрудников, который стоит не менее 10 тыс. руб. на одного сотрудника.

Контингент пользователей программного обеспечения для составления рационов

в большей степени представлен крупными организациями. При этом некоторые крупные комплексы работают с зарубежными разработками (Bestmix), но из-за отсутствия адаптации программ к российскому производству (в том числе показателей) используются они в ограниченном наборе функциональных возможностей. Другие хозяйства пользуются отечественными разработками, которые тоже не лишены недостатков. Значительная часть хозяйств рассчитывают рационы в электронных таблицах Microsoft Excel, используя справочные нормативы [9]. Ученые и практики, изучающие вопросы нормированного кормления животных, сходятся во мнении, что с использованием этих норм невозможно получать продуктивность выше 6 тыс. кг молока. Иными словами, такой подход тормозит развитие скотоводства, однако эффективного решения данной проблемы на рынке нет [10].

После изучения компонентов существующих и актуальных на сегодняшний день программных продуктов был сделан вывод о том, что для разработки информационных

систем в области сельского хозяйства лучше всего применять базы данных и экспертные системы. В связи с этим принято решение разработать собственную информационную систему оптимизации рационов животных, с заданными пользовательскими требованиями к программе.

При разработке программного обеспечения существует множество методологий разработки. В основе разрабатываемого прототипа приложения заложена функциональная модель, разработанная с использованием методологии IDEF0 [11], определяющая основные функции системы: обработка запросов пользователя и предоставление необходимой информации по кормам и нормам животных; создание рационов для животных по заданным параметрам; пересчет рациона с учетом изменений, внесенных пользователем; анализ рациона и предоставление рекомендаций по его оптимизации.

Для упрощения восприятия информации по работе приложения на рис. 2 представлена контекстная диаграмма в нотации IDEF0.



Рис. 2. Контекстная диаграмма работы приложения «Рацион и продуктивность»

На контекстной диаграмме отображается только основная функция приложения, при этом нет возможности отобразить полностью структуру и функции, а также потоки информации и материальных объектов внутри него. Для этого необходимо провести декомпозицию контекстной диаграммы.

Декомпозиция первого уровня представлена на рис. 3.

В рамках данной работы проводить дальнейшую декомпозицию имеет смысл только по блоку А3 «Создать рацион». Декомпозиция второго уровня по этому блоку изображена на рис. 4.

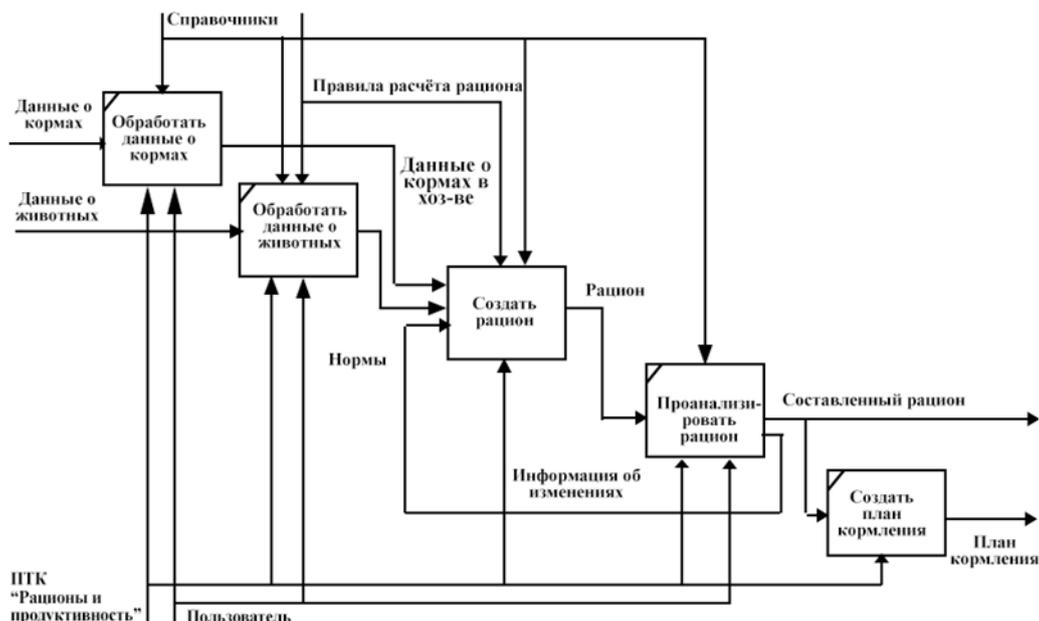


Рис. 3. Декомпозиция первого уровня

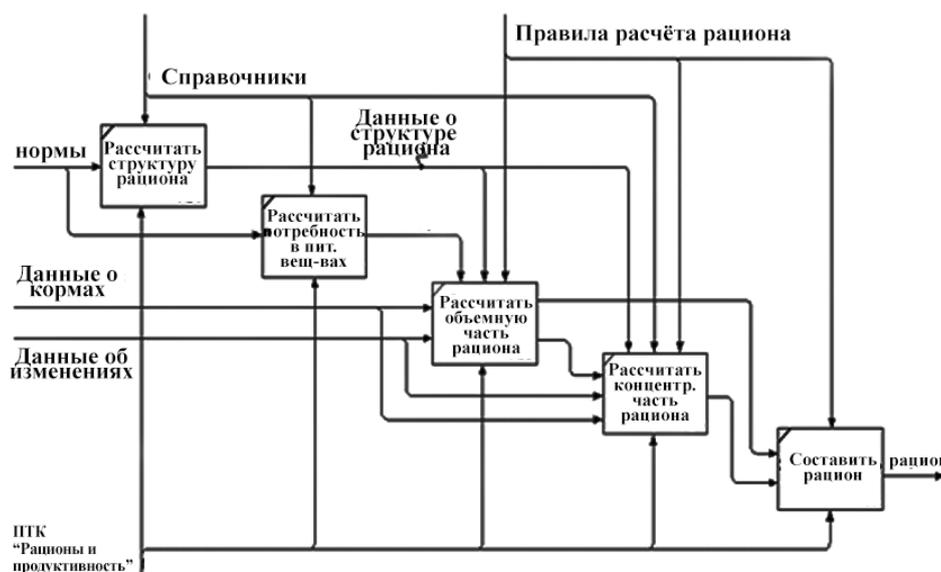


Рис. 4. Декомпозиция второго уровня

Для реализации собственного решения необходимо решить ряд задач: разработка математической модели расчета показателей и норм; проектирование и разработка модели базы данных; программная реализация алгоритмов взаимодействия с базой данных; программная реализация и тестирование алгоритмов расчета рациона; разработка алгоритма взаимодействия с пользователем и прототипа интерфейса программы [12, 13].

Для построения архитектуры системы была выбрана двухуровневая модель «клиент-сервер». Сама технология «клиент-

сервер» предусматривает наличие двух самостоятельных взаимодействующих процессов – сервера и клиента. В данном случае под сервером подразумеваются программное обеспечение с набором функций, расположенное на отдельной вычислительной машине. Под клиентом подразумевается основная разрабатываемая программа, которая работает с основным набором вычислительных функций и базой данных.

Также для решения поставленных задач будут использованы линейные алгоритмы, то есть отражающие линейные вычисли-

тельные процессы. Основой линейных процессов является последовательность операторов, обеспечивающих ввод данных, вычисление выражений и возврат результатов вычислений.

Можно сформулировать задачу в общем виде – нахождение экстремума целевой функции по формуле (1) при ограничениях в виде неравенств по формуле (2).

$$F(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $c_i$  – цена  $i$ -го корма;  $x_i$  – неизвестное количество  $i$ -го корма.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2; \\ \dots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a_{ji}$  – значение  $j$ -й характеристики питательности для  $i$ -го корма (показатели питательности корма);  $b_j$  – физиологическая суточная потребность животного в  $j$ -м питательном веществе – белки, жиры, углеводы и прочее (показатель питательности по норме).

Также в данной задаче необходимо учитывать, что искомое количество корма не может принимать отрицательное значение и может быть ограничено пользователем. Для этого в систему необходимо задать дополнительные ограничения по формуле

$$0 \leq x_i \leq z_i, \quad (3)$$

где  $z_i$  – ограничение на максимум  $i$ -го корма.

При расчете рациона используется симплекс-метод. Симплекс-метод представлен алгоритмом, используемым при решении оптимизационной задачи линейного программирования, задача которого состоит в том, чтобы максимизировать или минимизировать некоторый линейный функционал на многомерном пространстве при заданных линейных ограничениях. Его основное достоинство состоит в использовании небольших объемов памяти. Недостаток заключается в том, что метод при задании большого числа ограничений может не найти решений или найдет локальный минимум, особенно при исследовании сложных образцов [14].

Ключевым элементом в создании алгоритма взаимодействия с пользователем является разработка интерфейса. Разработанный на основе алгоритма интерфейс программы должен создавать наименьшую умственную нагрузку для пользователя в процессе достижения цели – составлении рациона.

Для создания интерфейса выбраны способы проектирования – «Ориентированное на пользователя проектирование» (User-centered design) и «Человекоориентированное проектирование» (Human-centred design). Таким образом, прототип интерфейса будет построен исходя из потребностей и возможностей специалистов по составлению рационов с применением при проектировании принципов эргономики.

С целью обучения пользователя принципам работы в создаваемой программе принято решение разработки «Мастера обучения», который будет создан на основе документации. Таким образом, «Мастер обучения» представляет вариант документации, когда часть руководства по работе с программой добавлена непосредственно в саму программу, для облегчения восприятия информации.

Таким образом, при реализации поставленных задач будет решена проблема скорости оптимизации рациона. Согласно проведенным расчетам, среднее затраченное время на составление рациона, начиная с ввода данных о кормах, корректировки норм и заканчивая выбором кормов, должно составлять не более 5–7 минут.

### Заключение

В основе разрабатываемого приложения заложена функциональная модель, разработанная с использованием методологии IDEF0, определяющая основные функции системы: обработка запросов пользователя и предоставление необходимой информации по кормам и нормам животных; создание рационов для животных по заданным параметрам; пересчет рациона с учетом изменений, внесенных пользователем; анализ рациона и предоставление рекомендаций по его оптимизации. Для обеспечения функционирования системы необходимы основные алгоритмы расчета рациона, работы

с базой данных и взаимодействия с пользователем.

Основные алгоритмы расчета рациона и экспертной системы разрабатываются на основе принципов объектно ориентированного программирования, создания системы взаимосвязанных библиотек, методов математического моделирования оптимизационных задач.

### Библиографические ссылки

1. Ястребова Е. А. Генетические аспекты повышения молочной продуктивности крупного рогатого скота // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых ученых-исследователей. Ижевск, 24–27 октября 2017 г. Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. С. 151–153.

2. Ковалевский В. В. Перспективы оптимизации рационов кормления коров // Успехи современной науки. 2016. № 11, Т. 10. С. 156–158.

3. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.

4. Жарко Е. Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 4585–4594.

5. Красовская А. IT-решения для автоматизации животноводства: правила выбора. URL: <https://www.e-xecutive.ru/management/itforbusiness/1956459-IT-resheniya-dlya-avtomatizatsii-zhivotnovodstva-pravila-vybora> (дата обращения: 09.04.2018).

6. Лукьянов Б. В., Лукьянов П. Б. Компьютерная технология управления содержанием скота // Эффективное животноводство. 2014. № 5 (103). С. 28–31.

7. Что скажет «Корм Оптима» // Комбикорма. 2015. № 12. С. 54–61.

8. Орлов А. А., Антонов Л. В. Обзор и анализ современных информационных решений автоматизации животноводческих хозяйств // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10943> (дата обращения: 09.04.2018).

9. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие / под ред. А. П. Калашникова и др. М., 2003. 456 с.

10. Ковалевский В. В. Молочная продуктивность коров разных генотипов в условиях нестабильности качества объемистых кормов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2016. № 12. С. 106–109.

11. Р 50.1.028-2001 – Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028629> (дата обращения: 09.04.2018).

12. Вологдин С. В., Попов Д. В. Программно-инструментальные средства автоматизации тестовых сценариев (на примере дымового тестирования) // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2015. № 2 (66). С. 83–84.

13. Вологдин С. В. Опыт использования программно-вычислительного комплекса «ИАСТЭС» для мониторинга и оптимизации параметров системы центрального теплоснабжения // Интеллектуальные системы в производстве. 2004. № 1. С. 50–64.

14. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах. СПб. : Лань, 2011. 352 с.

### References

1. Yastrebova E. A. (2017). *Geneticheskie aspekty povysheniya molochnoi produktivnosti krupnogo rogatogo skota* [Genetic aspects of increasing the dairy productivity of cattle]. Proceedings of the *Innovatsionnyi potentsial sel'skokhozyaistvennoi nauki XXI veka: vklad molodykh uchenykh-issledovatelei. Izhevsk, 24–27 oktyabrya 2017 g.* Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya. Pp. 151–153 (in Russ.).

2. Kovalevskii V. V. (2016). *Uspekhi sovremennoi nauki* [Successes of modern science], no. 11, vol. 10, pp. 156–158 (in Russ.).

3. ISO / IEC 9126-1: 2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.

4. Zharko E. F. (2014). *Sravnenie modelei kachestva programmno obespecheniya: analiticheskii podkhod* [Comparison of software quality models: an analytical approach]. Proceedings of the *XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014*. Moscow: Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN. Pp. 4585–4594 (in Russ.).

5. Krasovskaya A. *IT-resheniya dlya avtomatizatsii zhivotnovodstva: pravila vybora* [IT-solutions for livestock automation: the rules of choice], available at <https://www.e-xecutive.Rumanage->

ment/itforbusiness/1956459-IT-resheniya-dlya-avtomatizatsii-zhivotnovodstva-pravila-vybora (accessed April 9, 2018) (in Russ.).

6. Luk'yanov B. V., Luk'yanov P. B. (2014). *Efektivnoe zhivotnovodstvo* [Effective livestock], no. 5 (103), pp. 28-31 (in Russ.).

7. *Kombikorma* [Mixed feed]. 2015. Vol. 12. Pp. 54-61 (in Russ.).

8. Orlov A. A., Antonov L. V. (2013). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 6, available at <http://www.science-education.ru/en/article/view?id=10943> (accessed April 9, 2018) (in Russ.).

9. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh*. Spravochnoe posobie [Norms and rations of feeding of farm animals. Reference manual] (eds. A. P. Kalashnikova i dr.). 2003. Moscow. 456 p. (in Russ.).

10. Kovalevskii V. V. (2016). *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* [Veterinary science,

zootechny and biotechnology]. No. 12, pp. 106-109 (in Russ.).

11. R 50.1.028-2001 - Recommendations on standardization. Information technology support the life cycle of products. Methodology of functional modeling. Available at <http://docs.cntd.ru/document/1200028629>. (accessed April 9, 2018) (in Russ.).

12. Vologdin S. V., Popov D. V. (2015). *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova* [Messenger of the IGSTU named after M. Kalashnikov], no. 2 (66), pp. 83-84 (in Russ.).

13. Vologdin S. V. (2004). *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intellectual systems in production], no. 1, pp. 50-64 (in Russ.).

14. Akulich I. L. (2011). *Matematicheskoe programmirovaniye v primerakh i zadachakh* [Mathematical programming in examples and problems]. St. Petersburg: Lan'. 352 p. (in Russ.).

\*\*\*

### Development of Information System for Optimization of Cattle Rations

R. M. Garaev, student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V. V. Kovalevsky, PhD in Agriculture, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia

S. V. Vologdin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*This research is aimed at solving an important problem of agricultural production and livestock production in particular - optimization of rations of cattle to increase productivity and reduce the costs of the enterprise. The use of information systems in the compilation of a diet will help accelerate the process of compilation and minimize the standard errors allowed by a specialist in animal technician, which will have a positive effect on the quality and quantity of the products. Studies of existing information systems for optimizing animal rations have been carried out, and their shortcomings have been identified. To formulate requirements and evaluate existing systems, the ISO 9126 quality model has been selected. A mathematical model of methods for optimizing rations based on linear programming has been developed. The solution of the optimization problem of linear programming will be produced by the simplex method, whose task is to minimize the objective function at the cost of the composted diet and with a number of limitations on the indicators of general nutrition. At the heart of the developed prototype applications the functional model has been incorporated which is developed using the methodology of IDEF0, which defines the basic functions of the system: processing user requests and providing the necessary information on the feed and animal standards; creation of rations for animals according to the given parameters; recalculation of the ration taking into account the changes made by the user; analysis of the diet and providing recommendations for its optimization. The interaction of the connected libraries is described. Methods for developing algorithms for interaction with the user are described. To create an interface, the design methods are chosen - "User-oriented design" and "Human-oriented design". Thus, in the implementation of the tasks of this study, the problem of the rate of optimization of the diet will be solved.*

**Keywords:** software, quality assessment, user interface, livestock, animal feeding, rationing, IDEF0.

Получено: 18.04.18