Многовариантная оптимизация рационов для сельскохозяйственных животных

Лукьянов Б.В.
доктор экономических наук, профессор ФГБОУ ВПО
«Российский государственный аграрный университет -
МСХА имени К.А. Тимирязева»
Лукьянов П.Б.
доктор экономических наук, профессор ФГБОУ ВПО
«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

Введение

Одной из ключевых составляющих в решении проблемы повышения эффективности отечественного животноводства является экономическая оптимизация кормления животных. Традиционно при экономической оптимизации рационов за критерий оптимальности берётся минимум стоимости рациона [1]. Но эффективность производства оценивается в первую очередь такими показателями, как прибыль и уровень рентабельности, поэтому основными критериями оптимизации кормления сельскохозяйственных животных следует признать максимизацию именно этих показателей.

В то же время, решения по эффективному ведению производства не всегда ограничиваются применением названных критериев оптимизации. Часто реальные экономические и хозяйственные ситуации, в которых оказываются предприятия-производители животноводческой продукции, при оптимизации рационов требуют учёта дополнительных условий.

Так, при отсутствии достаточных денежных средств для приобретения кормов необходимо вводить ограничения на стоимость рационов, то есть добиваться достижения максимальной прибыли или рентабельности при стоимости рациона, не превышающей заданную.

В условиях рыночных отношений поставщику продукции нередко требуется обеспечить строго лимитированный объём производства – недопроизводство ведёт к срыву договорных обязательств, перепроизводство создаёт проблемы со сбытом продукции. В такой ситуации экономическая

оптимизация рациона должна выполняться в условиях ограничений на объём производимой продукции.

Для рационального использования запасов кормов целесообразно иметь возможность варьирования их массами в рационе, оставаясь в окрестности оптимального решения.

В зависимости от степени механизации и автоматизации производства требуется оптимизировать рационы для индивидуального и группового кормления животных, суточные или на период, дозированного кормления и кормления вволю.

Иногда лица, принимающие решения, хотят учитывать не один, а несколько критериев оптимизации. И тогда задача оптимизации рациона перерастает в многокритериальную задачу.

Таким образом, многообразие целей, возникающих при управлении кормлением сельскохозяйственных животных, требует применения многовариантной оптимизации рационов с возможностью выбора критериев, соответствующих конкретным экономическим и хозяйственным условиям, в которых находятся или оказываются животноводческие предприятия.

1. Обоснование критериев оптимизации рационов

Прибыль и рентабельность, обеспечиваемая кормлением животных как фрагментом производственного цикла, оценивается соотношением стоимости получаемой продукции и затрат на корма. При этом учитывается та стоимость кормов, какую они имеют непосредственно при скармливании, то есть в эту стоимость входят затраты на приготовление кормов, их транспортировку и другие технологические операции, связанные с обеспечением кормления.

Максимальная продуктивность животных, а следовательно, и стоимость получаемой продукции, достигается при полностью сбалансированном рационе, когда количества всех компонентов питания в рационе соответствуют потребностям животного. В производственных условиях удовлетворение потребностей животных в компонентах питания определяется как соответствие питательности рациона научно обоснованным нормам кормления. В настоящее время эти нормы регламентируют десятки компонентов питания, а также их

соотношений. Таким образом, балансирование рациона по всем нормируемым компонентам и соотношениям превращается в сложную задачу, тем более что при ограниченном наборе кормов, которыми располагают предприятия, достичь полной сбалансированности рационов не предоставляется возможным в принципе. Поэтому на практике, как правило, животных кормят лишь по частично сбалансированным рационам, что приводит к снижению эффективности производства – многочисленные научные исследования констатируют, что при несбалансированном кормлении происходит снижение продуктивности животных, теряются их племенные качества, возникают болезни, ухудшаются показатели воспроизводства.

Основываясь на сказанном, определения прибыли и рентабельности можно описать следующими уравнениями [2]:

$$ПР = С^{Б}_{прод} - С_{рац} - П_{дисб} \quad (руб.) \qquad (1)$$

$$Р = ПР / (С_{рац} + П_{цж}) * 100 \quad (\%) \qquad (2)$$

где ПР – прибыль, обеспечиваемая применением рациона;

Р – уровень рентабельности рациона;

$С^{Б}_{прод}$ – стоимость продукции, которая может быть получена от животного при полностью сбалансированном рационе, приведенная к одним суткам;

$С_{рац}$ – стоимость рациона;

$П_{дисб}$ – потери, вызываемые дисбалансом рациона;

$$П_{дисб} = П_{прод} + П_{воспр} + П_{цж} \qquad (3)$$

$П_{прод}$ – потери по продуктивности;

$П_{воспр}$ – потери по воспроизводству;

$П_{цж}$ – потери по ценности животного.

Под потерями по продуктивности (или упущенной выручкой) понимается стоимость продукции, недополученной из–за несбалансированности кормления.

Потери по воспроизводству отражают собой удлинение цикла воспроизводства, снижение качества или потерю приплода, вызываемое неполноценностью кормления.

Под потерями по ценности животного здесь понимается понижение стоимости животного как средства производства животноводческой продукции. Потери по ценности животного определяются следующими факторами: необратимая потеря продуктивных и племенных качеств; возникновение болезней, вызванных неправильным кормлением; сокращение срока эксплуатации.

Для большей чёткости формирования критериев оптимизации рационов представляется целесообразным продукцию животноводства подразделить на два вида:

- продукция, получаемая от животного – молоко, мясо, яйца, шерсть, приплод и т. п.;
- в качестве продукции выступает само животное – ремонтный молодняк, молодняк на откорм, взрослые товарные животные.

Поскольку стоимость продукции, которая может быть получена от животного при полностью сбалансированном рационе, не зависит от планируемого рациона и остается постоянной при любых комбинациях кормов, включаемых в рацион, целевая функция оптимизации может быть упрощена:

$$Z = C_{рац} + П_{дисб} \rightarrow \min \qquad (4)$$

Для первого вида продукции для разных половозрастных групп животных это выражение может иметь следующие варианты:

$$Z = C_{рац} + П_{прод} + П_{воспр} + П_{цж} \rightarrow \min \qquad (5)$$

$$Z = C_{рац} + П_{прод} + П_{цж} \rightarrow \min \qquad (6)$$

$$Z = C_{рац} + П_{прод} \rightarrow \min \qquad (7)$$

$$Z = C_{рац} + П_{воспр} + П_{цж} \rightarrow \min \qquad (8)$$

Для второго вида продукции целевая функция принимает вид:

$$Z = C_{рац} + П_{цж} \rightarrow \min \qquad (9)$$

При выращивании племенных животных сохранение их племенных качеств часто оценивается значительно выше, чем затраты на корма, и тогда целевая функция оптимизации рациона сводится к минимизации потерь по ценности животного без учёта затрат на корма:

$$Z = П_{цж} \rightarrow min \qquad (10)$$

Похожая ситуация может возникать, когда предприятие обеспечивает животных пастбищными кормами или кормами собственного производства, и экономия кормовых ресурсов не приносит существенной выгоды. В этом случае критерием оптимизации может выступать минимум суммарных потерь, вызываемых дисбалансом рациона (максимум сбалансированности рациона):

$$Z = П_{дисб} \rightarrow min \qquad (11)$$

В некоторых случаях специалисты по кормлению хотят получить рацион минимальной стоимости:

$$Z = C_{рац} \rightarrow min \qquad (12)$$

или рацион, обеспечивающий максимальную оплату корма продукцией:

$$Z = (C^{Б}_{прод} - П_{прод}) / C_{рац} \rightarrow max \qquad (13)$$

или рацион, обеспечивающий максимальную продуктивность:

$$Z = П_{прод} \rightarrow min \qquad (14)$$

Таким образом, за основные критерии экономической оптимизации рационов следует принять:

- минимум суммы: стоимость рациона + общие потери по дисбалансу рациона (формула 5);
- минимум суммы: стоимость рациона + потери по продуктивности + потери по ценности животного (формула 6);
- минимум суммы: стоимость рациона + потери по продуктивности (формула 7);
- минимум суммы: стоимость рациона + потери по воспроизводству + потери по ценности животного (формула 8);
- минимум суммы: стоимость рациона + потери по ценности животного (формула 9);
- минимум потерь по ценности животного (формула 10);
- минимум общих потерь по дисбалансу рациона (формула 11);
- минимум стоимости рациона (формула 12);

- максимум оплаты корма продукцией (формула 13);
- минимум потерь по продуктивности (формула 14);
- максимум рентабельности рациона:

$$Z = (С^{Б}_{прод} - С_{рац} - П_{дисб}) / (С_{рац} + П_{цж}) \rightarrow max \qquad (15)$$

при $(С^{Б}_{прод} - С_{рац} - П_{дисб}) > 0$.

Для практического применения названных критериев оптимизации требуется аналитически описать показатели, входящие в формулы критериев: стоимость продукции, которая может быть получена от животного при полностью сбалансированном рационе ($С^{Б}_{прод}$); стоимость рациона ($С_{рац}$) и потери по дисбалансу рациона ($П_{дисб}$).

$$С^{Б}_{прод} = Ц_{пр} * А_{пот} \qquad (16)$$

где $Ц_{пр}$ – цена единицы продукции;

$А_{пот}$ – потенциальная суточная продуктивность животного (та продуктивность, которая может быть получена от животного в данных условиях содержания при полностью сбалансированном кормлении);

В силу того, что кормление животных практически не бывает полностью сбалансированным, потенциальная продуктивность животного, как правило, неизвестна. Она может быть лишь вычислена по известной фактической суточной продуктивности и рациону, предшествующему регистрации этой продуктивности [3]. По степени отклонения питательности рациона от нормы рассчитываются потери продуктивности – недополученная продукция. Потенциальная суточная продуктивность животного находится как сумма фактической продуктивности и вычисленных потерь.

$$С_{рац} = \sum_{j=1}^{M} (Ц_{кормаj} * x_j) \qquad (17)$$

где $Ц_{кормаj}$ – цена j-го корма ($j \in [1, M]$);

x_j – масса j-го корма в рационе;

$$П_{дисб} = \sum_{i=1}^{N} y_i(\alpha_i) \qquad (18)$$

где $y_i(\alpha_i)$ – функция потерь [2], описывающая потери, вызываемые отклонением от нормы i-го компонента питания или соотношения, ($i \in [1, N]$);

α_i – относительное значение содержания i-го компонента питания в рационе или выполнения соотношения.

2. Программная реализация многовариантной оптимизации рационов

Решение задач, обеспечивающих многовариантную оптимизацию рационов, реализовано в комплексе программ «КОРАЛЛ» [4, 8]:

- «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота»
- «КОРАЛЛ – Кормление выращиваемого скота»
- «КОРАЛЛ – Кормление свиней»
- «КОРАЛЛ – Кормление овец»
- «КОРАЛЛ – Кормление птицы».

2.1. **Определение потенциальной продуктивности животных** (на примере дойной коровы)

Потенциальный удой коров рассчитывается по фактическому суточному удою и рациону, предшествующему регистрации этого удоя. По степени отклонения питательности рациона от нормы рассчитываются потери – недополученное от коровы молоко. Потенциальный суточный удой коровы находится как сумма фактического удоя и вычисленных потерь.

В программе «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота» вычисляются:

- Текущий суточный потенциальный удой
- Годовой потенциальный удой
- Суточный потенциальный удой на планируемую дату

Определение текущего суточного потенциального удоя

Для вычисления текущего суточного потенциального удоя в программу вводятся характеристики коровы и ее фактический суточный удой (рисунок 1).

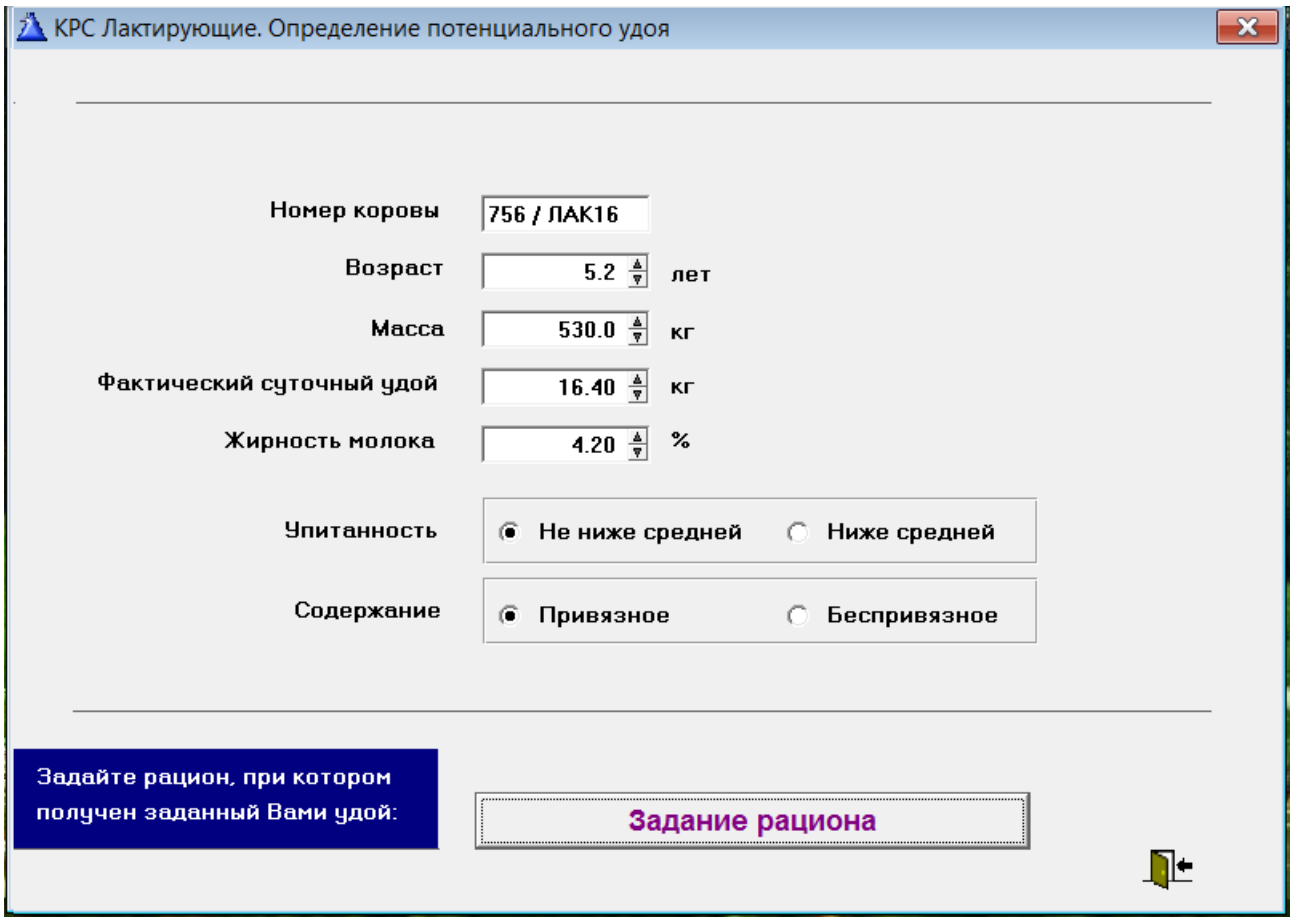


Рисунок 1 – Пример задания характеристик коровы перед расчетом ее текущего суточного потенциального удоя

Затем для ввода рациона, при котором был получен указанный удой, щелчком на экранной кнопке «Задание рациона» раскрывается соответствующее диалоговое окно, в котором помечаются корма из справочника кормов, входящие в рацион, и задаются их массы (рисунок 2).

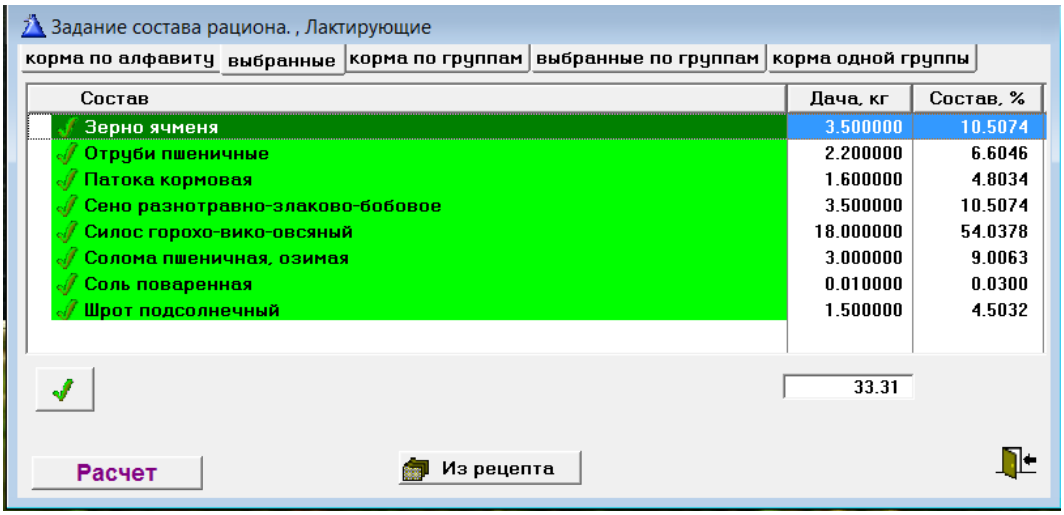


Рисунок 2 – Рацион, при котором получен рассматриваемый удой

По щелчку на кнопке «Расчет» выдается результат вычисления суточного потенциального удоя, соответствующего дню получения рассматриваемого фактического удоя (рисунок 3).

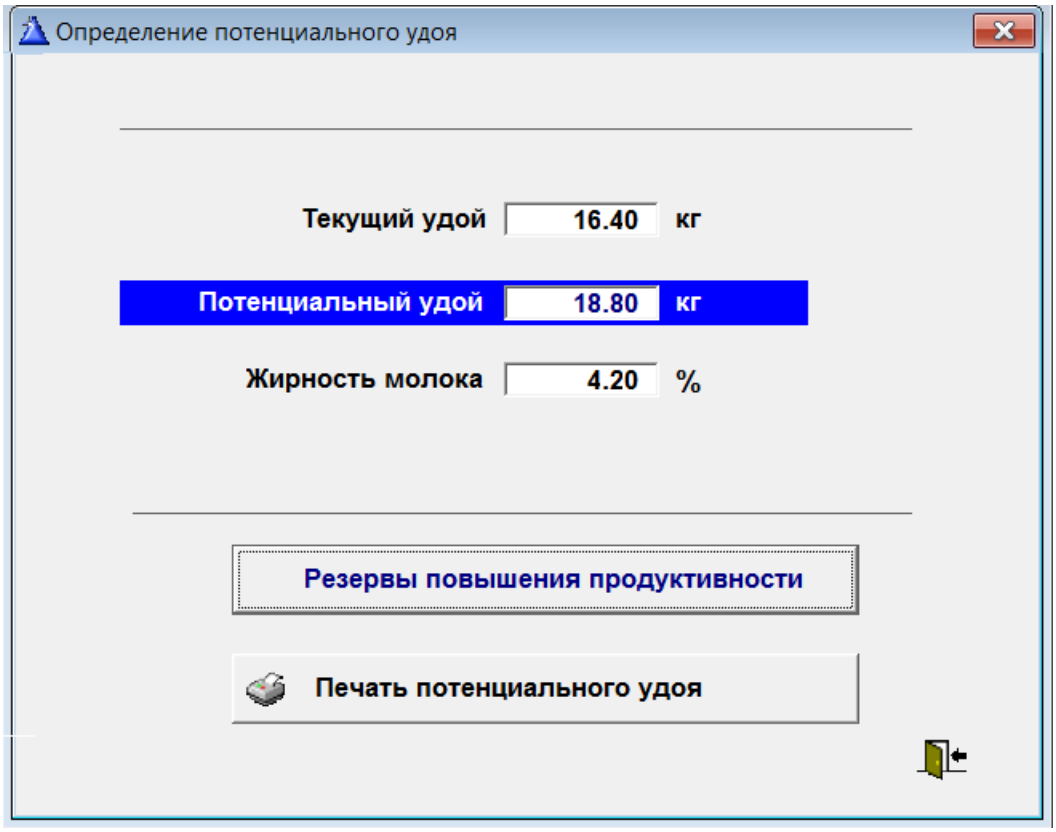


Рисунок 3 – Окно с результатом вычисления потенциального удоя

Щелчком на кнопке «Резервы повышения продуктивности» раскрывается окно «Резервы повышения продуктивности» с таблицей резервов продуктивности по сбалансированности рациона. Для более наглядного представления данные таблицы отображаются в виде лепестковых диаграмм: «Резервы повышения продуктивности по компонентам» (рисунок 4 и «Резервы повышения продуктивности по соотношениям» (рисунок 5).

Результаты расчета могут быть распечатаны.

Если применяется кормление «вволю», то для расчета потенциального удоя вместо рациона вводится состав кормосмеси, при кормлении которой был получен фактический удой.

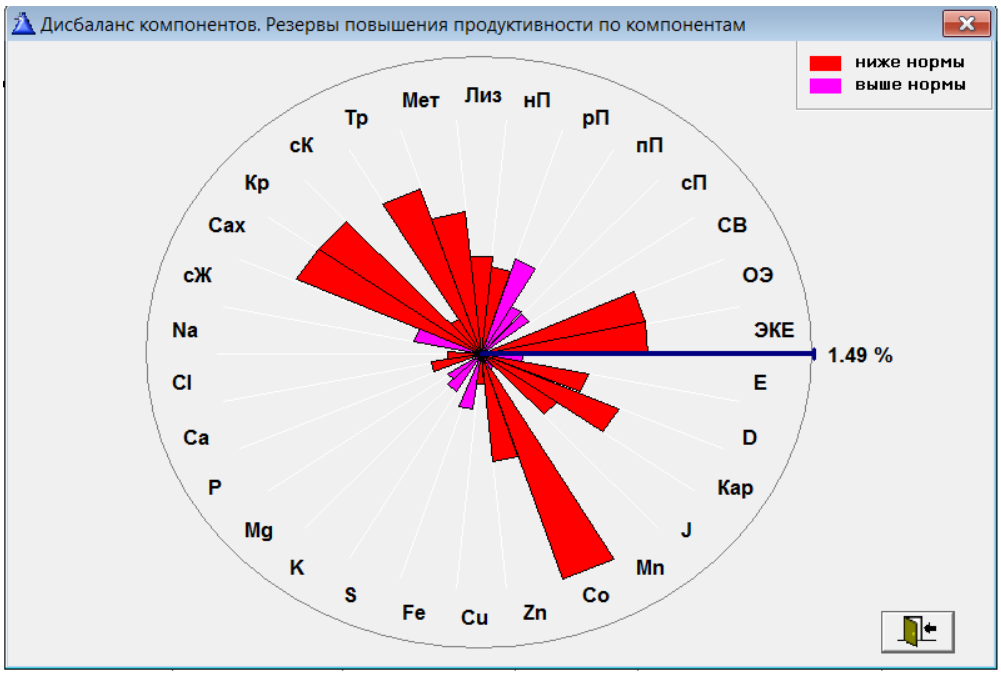


Рисунок 4 – Резервы повышения продуктивности, скрытые в недоучете продуктивности коровы (дисбаланс компонентов питания)

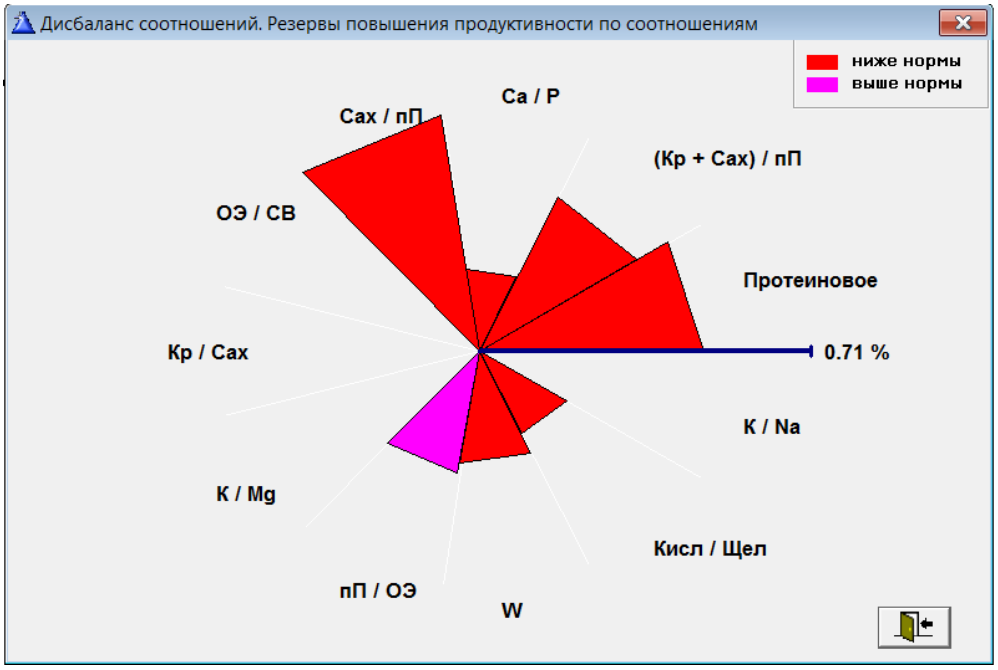


Рисунок 5 – Резервы повышения продуктивности, скрытые в недоучете продуктивности коровы (дисбаланс соотношений компонентов)

Определение годового потенциального удоя

Потенциальный годовой удой коровы может быть известен из ее породных характеристик. Однако на практике продуктивные показатели эксплуатируемого скота часто значительно отличаются от эталонных

характеристик скота чистопородного. Поэтому определение текущего потенциального годового удоя коров является важной производственной задачей. Знание потенциальной продуктивности животных служит базой для анализа эффективности производства животноводческой продукции и поиска резервов производства.

В программе «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота» имеется функция, позволяющая определять годовой потенциальный удой по суточным потенциальным удоям.

Для выполнения расчета годового потенциального удоя коровы следует в диалоговом окне «Определение годового потенциального удоя» (рисунок 6) ввести данные в поля: «Дата последнего отёла», «Суточный потенциальный удой», «при жирности», «на дату»; затем щелкнуть на кнопке «Рассчитать годовой потенциальный удой».

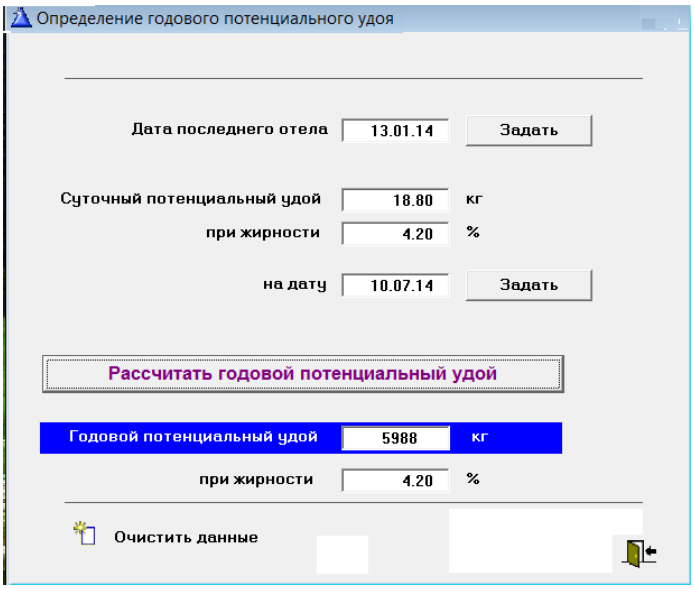


Рисунок 6 – Окно вычисления годового потенциального удоя

Определение суточного потенциального удоя на планируемую дату

Для расчета суточного потенциального удоя на планируемую дату используется модель кривой лактации, заложенная в программу. С помощью этой модели прогнозируется суточный удой коровы на планируемую дату кормления по определенному ранее потенциальному суточному или

потенциальному годовому удою. Прогнозируемый удой автоматически учитывается при очередном расчете рациона.

Для получения прогноза суточного удоя по данным о предшествующем суточном удое в диалоговом окне расчета потенциального удоя на дату кормления (рисунок 7) переключатель потенциального удоя «Суточный – Годовой» устанавливается в положение «Суточный».

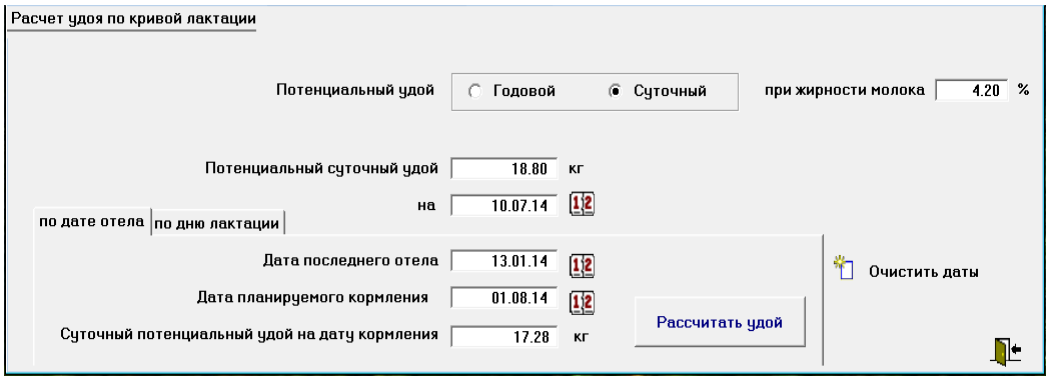


Рисунок 7 – Окно вычисления потенциального удоя на дату кормления

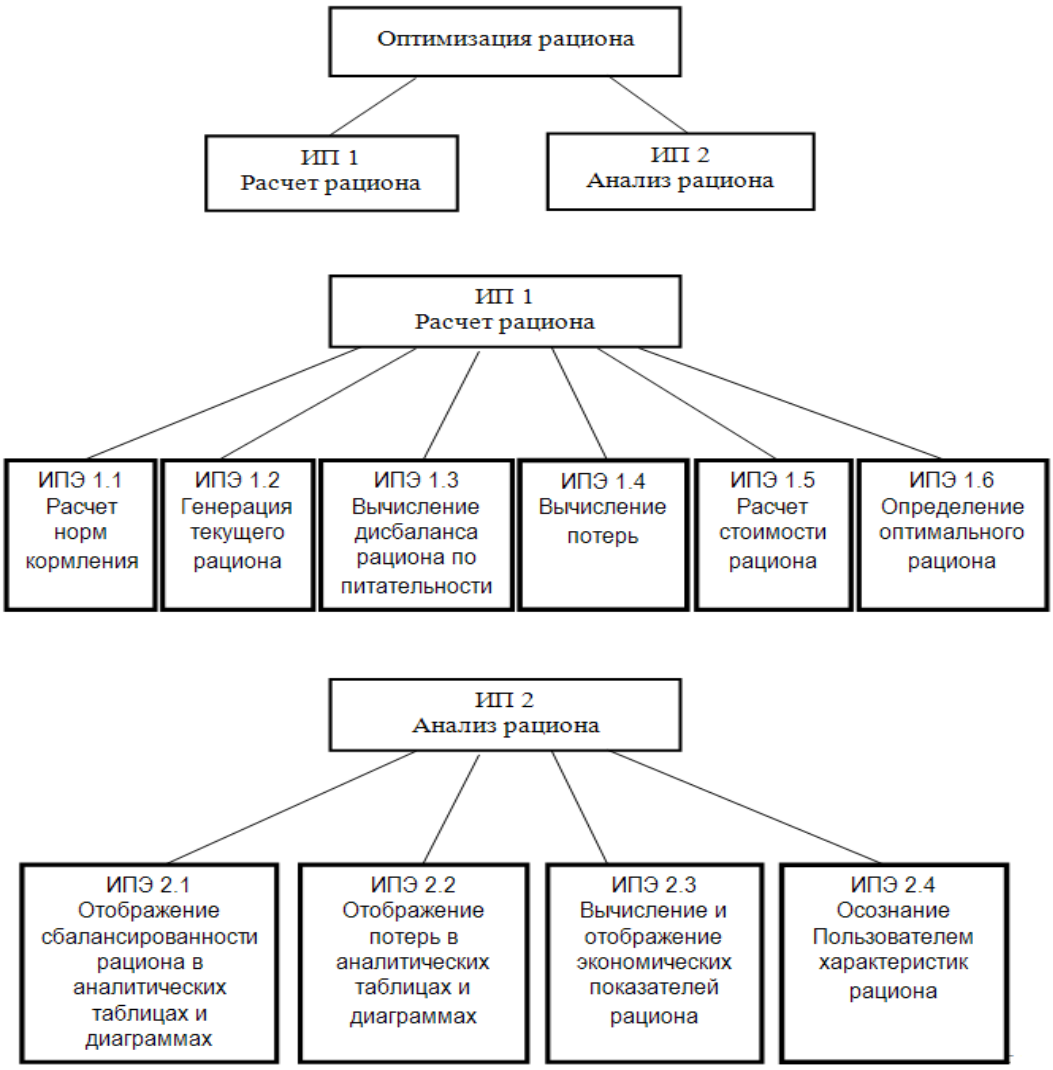
Затем вводятся данные о жирности молока, значение потенциального удоя, вычисленного на основании зарегистрированного суточного удоя, дата регистрации удоя, дата последнего отела коровы и дата планируемого кормления по рассчитываемому рациону. По щелчку на кнопке «Рассчитать удой» в поле «Суточный потенциальный удой на дату кормления» появляется значение удоя, используемое при расчете рациона.

Для получения прогноза суточного удоя по данным о годовом удое переключатель потенциального удоя «Суточный – Годовой» устанавливается в положение «Годовой», вводится значение годового удоя и по щелчку на кнопке «Рассчитать удой» вычисляется потенциальный удой на дату кормления.

Учет потенциальных возможностей животных при планировании рационов кормления является одним из элементов повышения эффективности производства животноводческой продукции.

2.2. Оптимизация рациона на максимальную прибыль с учётом всех видов потерь, возникающих из-за дисбаланса рациона

Рассмотрим оптимизацию рациона для лактирующей коровы. Рисунки 8 и 9 иллюстрируют состав информационных процессов и их связи при оптимизации рациона по указанному критерию.



- ИП –информационный процесс
- ИПЭ – элементарный (неделимый) информационный процесс

Рисунок 8 – Иерархическая схема информационных процессов оптимизации рациона

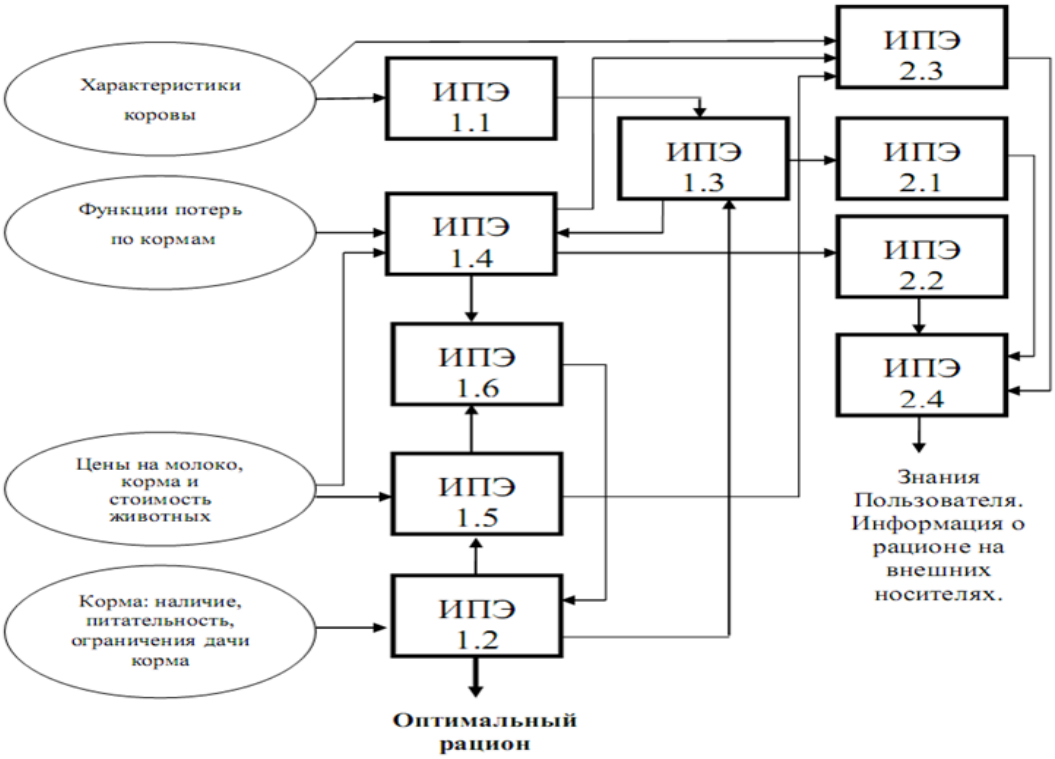


Рисунок 9 – Схема связей информационных процессов

Фрагменты сценария диалога «Пользователь – ЭВМ» представлены макетами диалоговых окон на рисунках 10 – 13.

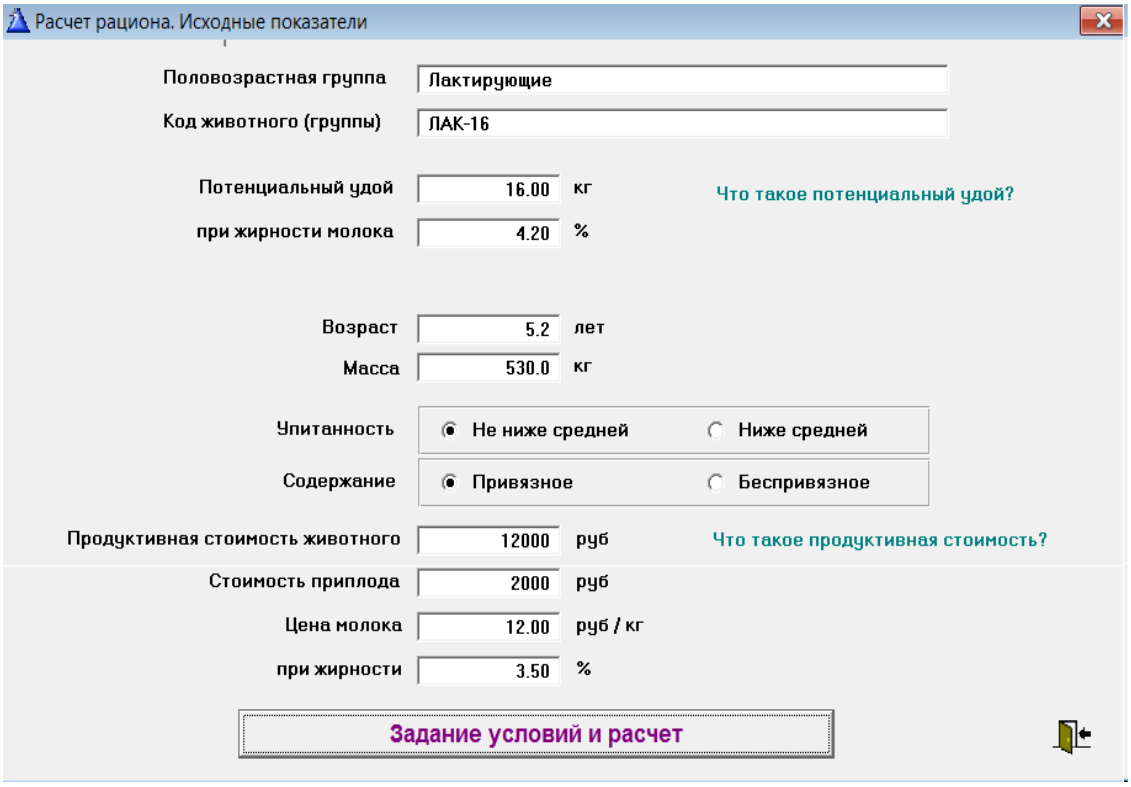


Рисунок 10 – Пример заполнения окна «Исходные показатели» для оптимизации рациона

Исходные показатели

Характеристики животного

Половозрастная группа	Лактирующие	
Код животного (группы)	710. Лага	
Потенциальный годовой удой	6200	кг
при жирности молока	3.90	%
Дата последнего отела	12.06.14	
Дата начала кормления	11.10.14	
Период кормления	10	дн.
Возраст	5.4	лет
Масса	565.0	кг
Упитанность	Не ниже средней / Ниже средней	
Содержание	Привязное / Беспривязное	
Продуктивная стоимость животного	8000	руб
Стоимость приплода	2500	руб
Цена молока	18.00	руб / кг
при жирности	3.50	%

Что такое продуктивная стоимость?

Задание условий и расчет

Рисунок 11 – Задание исходных данных перед расчетом рациона на период

По щелчку на кнопке «Задание условий и расчет» выполняется переход к выбору кормов для расчёта рациона (рисунок 12).

Выбор кормов для расчета. Молочный КРС, Лактирующие

корма по алфавиту | выбранные | корма по группам | выбранные по группам | корма одной группы

Состав	Суточная дача, кг мин.	Суточная дача, кг макс.
Мука известняковая		
Мука рыбная жирная, протеина до 60%		
Мука травяная 1 класса	0.000000	6.000000
Мука травяная вико-овсяная		
Оболочка зерна ячменя		
Отава естественного сенокоса		
Отава костреца безостого		
Отруби пшеничные	0.000000	5.000000
Отруби ржаные		
Отруби рисовые		
Отруби ячменные		
Паприн		
Патока кормовая	0.000000	2.500000
Пахта свежая		

Включить все | Отменить все | Выбрано 10 из 106 | 0.00 | 100.40

Из рецепта | Элементы премикса

Рисунок 12 – Выбор кормов для расчёта рациона

Корма для расчёта рациона выбираются из Справочника кормов программы, выбираемые корма помечаются «галочками».

Далее запускается расчёт оптимального рациона по одному из критериев оптимизации. Пример результата расчёта рациона по критерию «Максимальная прибыль» ($Z = C_{рац} + П_{дисб} \rightarrow min$) приведён на рисунке 13.

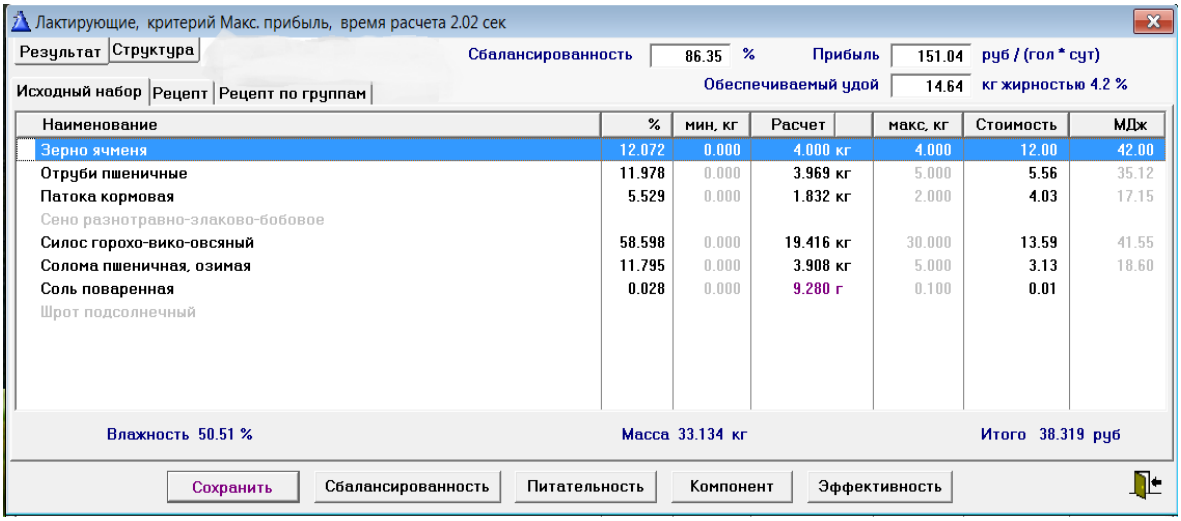


Рисунок 13 – Результаты оптимизации рациона по критерию «Максимальная прибыль»

Процедуры оптимизации рациона на максимальную рентабельность ($Z = (C^{Б}_{прод} - C_{рац} - П_{дисб}) / (C_{рац} + П_{цж}) \rightarrow max$), максимальную продуктивность ($Z = П_{прод} \rightarrow min$), максимальную сохранность животного ($Z = П_{прод} \rightarrow min$) и максимальную оплату корма продукцией ($Z = (C^{Б}_{прод} - П_{прод}) / C_{рац} \rightarrow max$) аналогичны действиям при оптимизации рациона на максимальную прибыль.

Критерии «Максимальная прибыль» и «Максимальная сбалансированность» выделены в программах как основные; другие критерии (рисунок 14) отнесены к дополнительным критериям оптимизации.

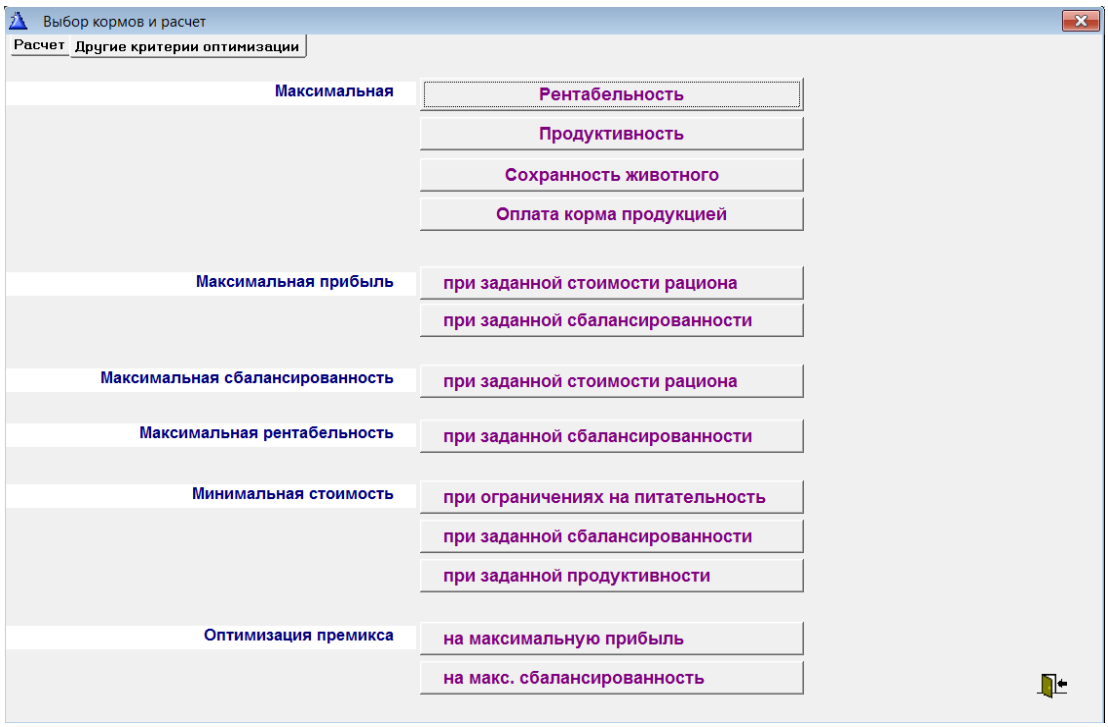


Рисунок 14 – Критерии оптимизации, обеспечиваемые дополнительными модулями

2.3. Оптимизация рационов со стоимостью не более заданной

Со стоимостью не более заданной рационы оптимизируются по критериям «Максимальная прибыль» ($Z = C_{рац} + П_{дисб} \rightarrow min$) и «Максимальная сбалансированность» ($Z = П_{дисб} \rightarrow min$).

Перед началом расчета Пользователь задаёт предельную стоимость рациона (рисунок 15) и щелчком на экранной кнопке «Расчет» запускает оптимизацию рациона по указанному им критерию.

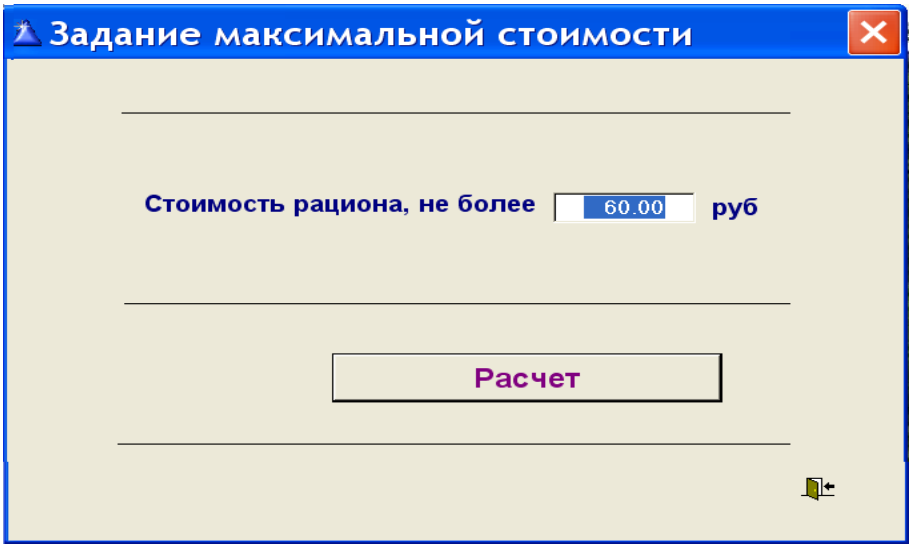


Рисунок 15 – Задание предельной стоимости рациона перед его оптимизацией

В результате оптимизации формируется рацион, обеспечивающий максимальную прибыль или максимальную сбалансированность при стоимости, не превышающей заданную.

Пример рациона, оптимизированного по критерию «Максимальная прибыль» с предельной стоимостью 60 рублей, приведён на рисунке 16.

Если заданная стоимость рациона слишком мала, выдается сообщение: «Заданная Вами стоимость слишком мала». Затем появляется окно «Результаты расчета» с рационом, стоимость которого максимально приближена к заданной.

Наименование	%	мин, кг	Расчет	макс, кг	Стоимость	МДж
Зерно кукурузы	4.046	0.000	1.465 кг	5.000	10.84	18.75
Зерно ячменя	2.917	0.000	1.056 кг	4.000	3.17	11.09
Отруби пшеничные	13.811	0.000	5.000 кг	5.000	7.00	44.25
Патока кормовая	7.641	0.000	2.766 кг	2.800	6.09	25.89
Пшеница твердая	5.422	0.000	1.963 кг	5.000	7.46	21.00
Сено люцерновое	15.183	0.000	5.497 кг	7.000	7.70	36.83
Силос подсолнечный	44.196	0.000	16.000 кг	40.000	16.00	33.60
Солома ячменная	6.767	0.000	2.450 кг	5.000	1.72	13.99
Соль поваренная	0.017	0.000	6.000 г	0.100	0.02	

Рисунок 16 – Диалоговое окно с результатом оптимизации рациона

2.4. Оптимизация рационов на минимальную стоимость

На минимальную стоимость ($Z = C_{рац} \rightarrow \min$) рационы оптимизируются при задании минимально допустимых значений сбалансированности, или продуктивности, или при задании ограничений на питательность по компонентам питания.

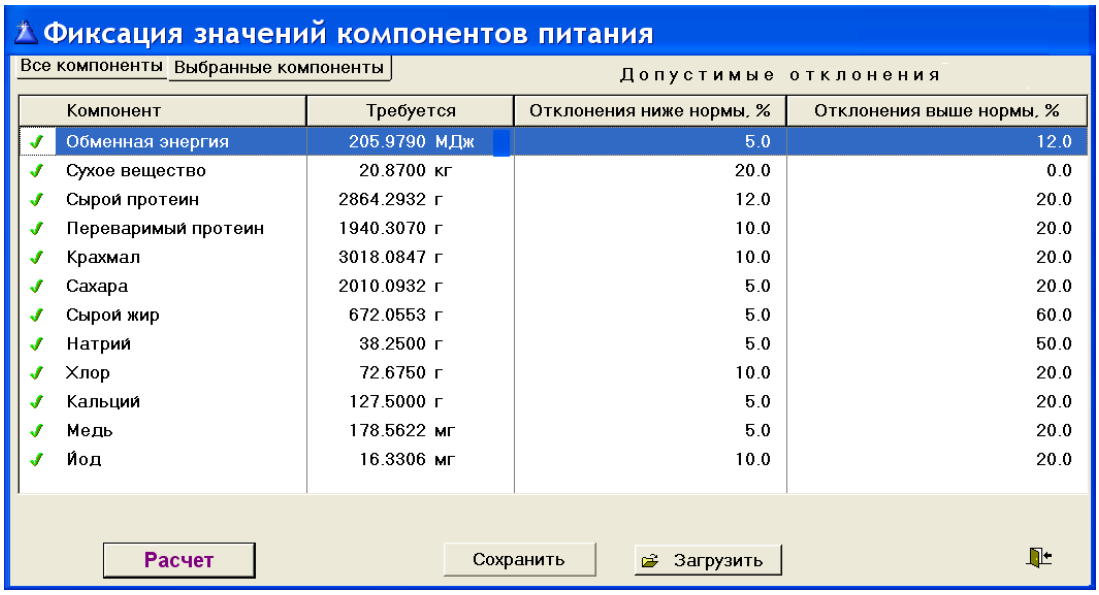
При выполнении расчётов с заданными минимально допустимыми значениями сбалансированности и продуктивности диалог Пользователя с программой выполняется подобно тому, как это делается при оптимизации с ограничением на стоимость рациона (рисунки 15, 16).

Оптимизация рационов на минимальную стоимость с ограничением на питательность по компонентам питания выражает традиционный подход к экономической оптимизации рационов. Цель оптимизации формулируется следующим образом: «добиться минимальной стоимости рациона из указанного набора кормов, сохраняя значения задаваемых компонентов питания в требуемых пределах».

При оптимизации рациона на минимальную стоимость с ограничением на питательность последствия несбалансированности рациона в расчете не учитываются ни в экономическом, ни в зоотехническом смыслах. Выполнение такой оценки специалист по кормлению, проводящий расчет, оставляет за собой. Следует отметить, что при использовании ограниченного набора кормов задаваемые условия обеспечения питательности выполняются не всегда.

Оптимизация рационов на минимальную стоимость с ограничением на питательность по компонентам питания выполняется в следующей последовательности.

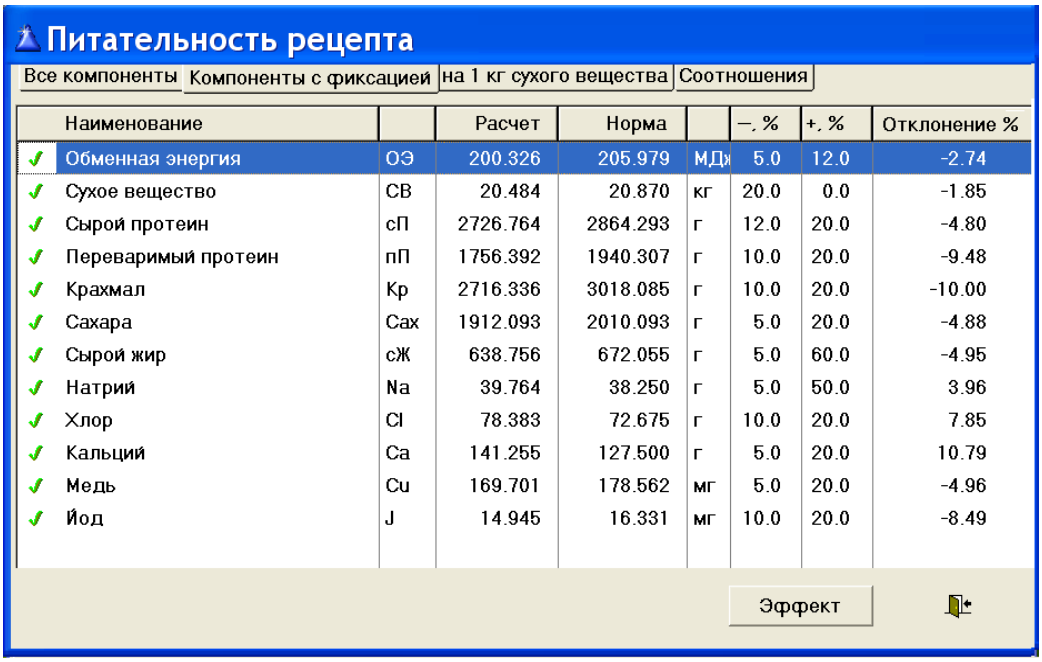
Щелчком на кнопке «Минимальная стоимость рациона при ограничениях на питательность» (рисунок 14) вызывается диалоговое окно «Фиксация значений компонентов питания». В списке нормируемых компонентов питания по контролируемым компонентам задаются ограничения (рисунок 17).



Компонент	Требуется	Отклонения ниже нормы, %	Отклонения выше нормы, %
Обменная энергия	205.9790 МДж	5.0	12.0
Сухое вещество	20.8700 кг	20.0	0.0
Сырой протеин	2864.2932 г	12.0	20.0
Переваримый протеин	1940.3070 г	10.0	20.0
Крахмал	3018.0847 г	10.0	20.0
Сахара	2010.0932 г	5.0	20.0
Сырой жир	672.0553 г	5.0	60.0
Натрий	38.2500 г	5.0	50.0
Хлор	72.6750 г	10.0	20.0
Кальций	127.5000 г	5.0	20.0
Медь	178.5622 мг	5.0	20.0
Йод	16.3306 мг	10.0	20.0

Рисунок 17 – Диалоговое окно задания допустимых значений содержания в рационе компонентов питания

По щелчку на кнопке «Расчет» запускается оптимизация рациона на минимальную стоимость. Если заданные ограничения при заданном наборе кормов не могут быть выполнены, то на экран выдается соответствующее сообщение, а затем появляется окно «Результаты расчета». Рисунок 18 отображает питательность найденного рациона по контролируемым компонентам питания.



Питательность рецепта

Все компоненты | Компоненты с фиксацией | на 1 кг сухого вещества | Соотношения

	Наименование		Расчет	Норма		–, %	+, %	Отклонение %
✓	Обменная энергия	ОЭ	200.326	205.979	МДж	5.0	12.0	-2.74
✓	Сухое вещество	СВ	20.484	20.870	кг	20.0	0.0	-1.85
✓	Сырой протеин	сП	2726.764	2864.293	г	12.0	20.0	-4.80
✓	Переваримый протеин	пП	1756.392	1940.307	г	10.0	20.0	-9.48
✓	Крахмал	Кр	2716.336	3018.085	г	10.0	20.0	-10.00
✓	Сахара	Сах	1912.093	2010.093	г	5.0	20.0	-4.88
✓	Сырой жир	сЖ	638.756	672.055	г	5.0	60.0	-4.95
✓	Натрий	Na	39.764	38.250	г	5.0	50.0	3.96
✓	Хлор	Cl	78.383	72.675	г	10.0	20.0	7.85
✓	Кальций	Ca	141.255	127.500	г	5.0	20.0	10.79
✓	Медь	Cu	169.701	178.562	мг	5.0	20.0	-4.96
✓	Йод	J	14.945	16.331	мг	10.0	20.0	-8.49

Эффект

Рисунок 18 – Содержание компонентов питания в рассчитанном рационе

2.5. Двухкритериальная оптимизация рационов

При управлении производством животноводческой продукции нередко возникают ситуации, когда с хозяйственной точки зрения целесообразно улучшить значение некоторого второстепенного показателя кормления животных за счет ослабления оптимизации решения по показателю, принятого за основной. Например, допустить небольшое отклонение от максимума сбалансированности рациона (возможного при имеющемся наборе кормов) с целью достижения при этом максимума оплаты корма продукцией.

В компьютерных программах «КОРАЛЛ – Кормление» при расчете рациона в качестве второго могут использоваться следующие критерии оптимизации:

- Максимум сбалансированности рациона

- Максимум прибыли, обеспечиваемой рационом
- Максимум продуктивности животного
- Максимум рентабельности применения рациона
- Максимум оплаты корма продукцией
- Минимум стоимости рациона
- Максимум содержания в рационе указываемого корма
- Минимум содержания в рационе указываемого корма.

Использование при оптимизации рациона в качестве второго критерия «Максимум сбалансированности» при любом экономическом критерии, применяемом в качестве основного, обеспечивает эффективное кормление животных как по экономическим показателям, так и по соблюдению норм кормления.

Критерии «Максимум содержания в рационе указываемого корма» и «Минимум содержания в рационе указываемого корма», при использовании их как дополнительных к любому из основных критериев, позволяет решать хозяйственные задачи по рациональному использованию кормовой базы.

Задача двухкритериальной оптимизации рациона решается следующим образом:

1. Рассчитывается оптимальный рацион по критерию, принятому за основной.
2. После расчёта оптимального рациона задаётся допустимое снижение основного показателя оптимальности.
3. Из списка вторичных показателей выбирается тот, для которого требуется найти максимум или минимум в заданном диапазоне значений основного показателя.
4. Выполняется оптимизация рациона по выбранному вторичному показателю при сохранении значений основного показателя в заданном диапазоне.
5. Вычисляются характеристики найденного рациона.

Расчёты начинаются с задания характеристик животного, выбора кормов и основного критерия оптимизации.

На рисунке 19 приведён базовый оптимальный рацион, рассчитанный для лактирующей коровы по критерию «Максимальная сбалансированность».

Два критерия | Сбалансированность 89.43 %

Наименование	%	мин, кг	Расчет	макс, кг
Горох	1.560	0.000	666.049 г	2.000
Дерть ячменная	6.839	0.000	2.920 кг	5.000
Жмых соевый	3.522	0.000	1.504 кг	2.000
Жом свекловичный сухой	3.867	0.000	1.651 кг	3.000
Зерно кукурузы	3.888	0.000	1.660 кг	5.000
Зерно ржи	0.787	0.000	336.000 г	4.000
Кукуруза молочной спелости	7.026	0.000	3.000 кг	3.000
Мел кормовой				
Мука травяная вико-овсяная	3.749	0.000	1.601 кг	3.000
Патока кормовая	4.684	0.000	2.000 кг	2.000
Сено клеверное	2.904	0.000	1.240 кг	5.000
Силос подсолнечный	54.709	0.000	23.360 кг	40.000
Соль поваренная	0.038	0.000	16.400 г	0.100
Шелуха овсяная	4.684	0.000	2.000 кг	2.000
Шрот рапсовый	1.742	0.000	744.000 г	3.000

Рисунок 19 - Базовый оптимальный рацион

Щелчком на закладке «Два критерия» вызывается диалоговое окно задания в искомом рационе величины допустимого отклонения от оптимального значения основной целевой функции и запуска процедуры двухкритериальной оптимизации рациона (рисунок 20).

Искать решения в диапазоне 3.0 % от оптимальной сбалансированности

Начать расчет

Наименование	Оптимум
Горох	666.049 г
Дерть ячменная	2.920 кг
Жмых соевый	1.504 кг
Жом свекловичный сухой	1.651 кг
Зерно кукурузы	1.660 кг
Зерно ржи	336.000 г
Кукуруза молочной спелости	3.000 кг
Мел кормовой	
Мука травяная вико-овсяная	1.601 кг
Патока кормовая	2.000 кг
Сено клеверное	1.240 кг
Силос подсолнечный	23.360 кг
Соль поваренная	16.400 г
Шелуха овсяная	2.000 кг
Шрот рапсовый	744.000 г

Сбалансированность, % 89.43

Рисунок 20 - Задание допустимого снижения основного показателя оптимальности

Последующие шаги решения рассматриваемой задачи рассматриваются на примере выбора в качестве второго критерия «Минимум указываемого корма» (рисунок 21) для зерна кукурузы.

Рисунок 21 – Выбор второго критерия оптимизации

Результат двухкритериальной оптимизации рациона приведён в столбце «Оптимум 2» на рисунке 22.

Искать решения в диапазоне 3.0 % от оптимальной сбалансированности

Корм	Оптимум 1	Оптимум 2
Горох	666.049 г	1.577 кг
Дерть ячменная	2.920 кг	178.418 г
Жмых соевый	1.504 кг	950.767 г
Жом свекловичный сухой	1.651 кг	2.960 кг
✓ Зерно кукурузы	1.660 кг	113.320 г
Зерно ржи	336.000 г	909.641 г
Кукуруза молочной спелости	3.000 кг	1.644 кг
Мел кормовой		20.494 г
Мука травяная вико-овсяная	1.601 кг	2.376 кг
Патока кормовая	2.000 кг	1.772 кг
Сено клеверное	1.240 кг	1.311 кг
Силос подсолнечный	23.360 кг	25.154 кг
Соль поваренная	16.400 г	39.285 г
Шелуха овсяная	2.000 кг	909.945 г
Шрот рапсовый	744.000 г	1.912 кг
Сбалансированность, %	89.43	87.65

Рисунок 22 – Результаты двухкритериальной оптимизации рациона

2.6. Генерация и оптимизация семейства рационов, близких к оптимальному

Компьютерные программы оптимизации рационов и кормосмесей для сельскохозяйственных животных, как правило, выдают один рецепт – оптимальный, с фиксированным набором кормов. В то же время в реальных условиях производства могут возникать ситуации, когда с хозяйственной точки зрения допустимо несколько отойти от оптимального решения с целью использования другого набора кормов. Формирование рецептов рационов и кормосмесей, близких к оптимальному рецепту, но с другими наборами кормов, для специалиста по кормлению является сложной задачей. В программах «КОРАЛЛ – Кормление» решение этой задачи автоматизировано и выполняется следующим образом.

После расчета оптимального рецепта задается допустимое снижение показателя оптимальности для вариантов с другим набором кормов. Программа генерирует варианты рецептов со значениями целевой функции, находящимися в заданных пределах, и последовательно группами выдаёт их для просмотра и предварительного анализа. Выбираемые рецепты фиксируются и запоминаются для последующего детального анализа. Так формируется семейство рецептов рационов или кормосмесей, близких к оптимальному, из которых могут выбираться те, которые наиболее полно отвечают требованиям текущей хозяйственной ситуации. Тем самым процедура оптимизации рациона или кормосмеси дополняется неформализованными знаниями специалиста, что повышает качество управления производством. Далее рассматривается пример оптимизации семейства кормосмесей для птицы.

В программе «КОРАЛЛ – Кормление птицы» поиск рецептов семейства кормосмесей, близких к оптимальной, начинается с выбора кормов и расчёта оптимальной кормосмеси. На рисунке 23 представлен результат оптимизации кормосмеси по критерию «Максимальная сбалансированность» для несушек возраста 21-45 недель. Корма, напечатанные бледным шрифтом, в рецепт кормосмеси не вошли.

21-45 недель. Длительность расчета 2.64 сек, критерий Макс. сбалансированность

Результат | Поиск семейства | Сбалансированность 79.18 %

Исходный набор | Рецепт | Рецепт по группам

Наименование	%	Мин, %	Расчет	Макс, %
Дрожжи кормовые (49%)	7.948	0.00	79.480 г	12.00
Жир кормовой свиной	1.432	0.00	14.316 г	5.00
Заменитель цельного молока (ЗЦМ)				
Кукуруза	18.178	0.00	181.784 г	80.00
Лён масличный (семена)	6.180	0.00	61.800 г	30.00
Масло подсолнечное				
Мел кормовой	2.000	0.00	20.000 г	2.00
Мука кровяная				
Мука рыбная (63% протеина)	10.000	0.00	100.000 г	10.00
Мука травяная 1 класса	3.604	0.00	36.040 г	10.00
Овёс не шелушёный				
Просо не шелушеное	25.991	0.00	259.912 г	30.00
ПР нес21_45э	1.200	0.00	12.000 г	1.20
Пшеница полновесная	15.694	0.00	156.944 г	80.00
Ракушка	7.772	0.00	77.724 г	15.00

Сохранить | Сбалансированность | Питательность | Компонент | Эффективность

Рисунок 23 – Результат расчёта оптимальной кормосмеси

Щелчком на закладке «Поиск семейства» вызывается диалоговое окно задания для искомых рецептов величины допустимого отклонения от оптимального значения целевой функции и для запуска процедуры генерации рецептов кормосмесей, входящих в заданный диапазон (рисунок 24).

Искать решения в диапазоне 4 % от оптимальной сбалансированности

Начать поиск семейства решений

Рисунок 24 – Задание величины допустимого отклонения от оптимума

Если генерация принудительно не прерывается, то она продолжается до получения шести новых рецептов кормосмесей (рисунок 25).

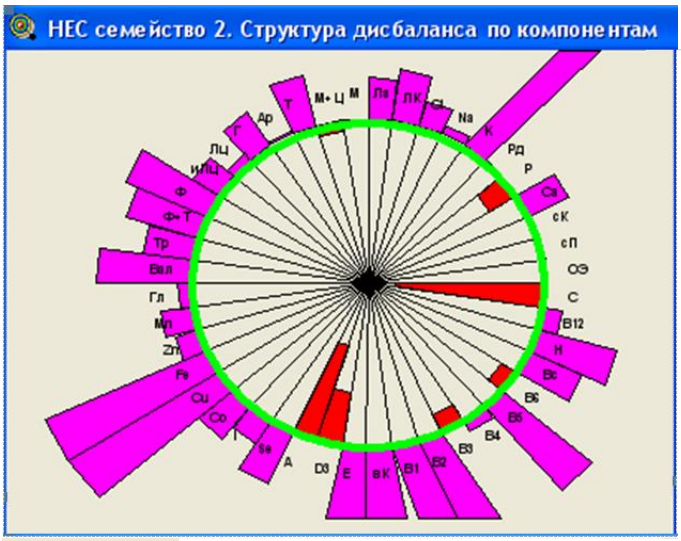
Щёлкнув на кнопке «Дисбаланс», Пользователь может оценить структуру дисбаланса и потерь, вызываемых дисбалансом, интересующего его варианта кормосмеси (рисунки 26, 27).

Расчет семейства рационов

Время расчета: 2618.25 сек

Наименование	Оптимальный	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6
Дрожжи кормовые (49%)	79.480 г	53.780 г	55.405 г	68.789 г	73.419 г	60.860 г	32.413 г
Жир кормовой свиной	14.316 г	8.333 г	14.332 г	10.950 г	5.582 г	19.988 г	6.034 г
Заменитель цельного молок		53.250 г	34.060 г	41.542 г	31.132 г	64.911 г	42.125 г
Кукуруза	181.784 г	7.088 г	94.257 г	267.379 г	31.638 г	29.410 г	78.621 г
Лён масличный (семена)	61.800 г	37.599 г	41.418 г	70.448 г	53.577 г	86.182 г	55.749 г
Масло подсолнечное		23.668 г	13.455 г	1.424 г	14.388 г	3.145 г	17.666 г
Мел кормовой	20.000 г	17.333 г	19.780 г	13.025 г	1.031 г	14.317 г	9.230 г
Мука кровяная		6.395 г	12.928 г	5.016 г	115.924 мг	5.641 г	9.532 г
Мука рыбная (63% протеина)	100.000 г	86.636 г	95.051 г	86.616 г	95.892 г	83.236 г	96.169 г
Мука травяная 1 класса	36.040 г	29.850 г	29.229 г	99.477 г	7.768 г	33.323 г	16.003 г
Овёс не шелушёный		128.051 г	36.185 г	33.754 г	87.267 г	42.823 г	61.636 г
Просо не шелушеное	259.912 г	74.907 г	277.894 г	30.532 г	137.451 г	134.239 г	170.043 г
ПР нес21_45э	12.000 г	11.945 г	12.346 г	12.512 г	11.551 г	10.504 г	11.279 г
Пшеница полновесная	156.944 г	379.551 г	169.635 г	176.631 г	355.490 г	313.792 г	311.951 г
Ракушка	77.724 г	81.614 г	94.026 г	81.907 г	93.697 г	97.631 г	81.547 г
Сбалансированность, %	79.18	76.17	77.11	76.60	76.77	76.43	76.24
Стоимость, руб	7.12	7.98	7.98	8.07	7.37	8.17	7.89
	Дисбаланс	Дисбаланс	Дисбаланс	Дисбаланс	Дисбаланс	Дисбаланс	Дисбаланс
	Эффект	Эффект	Эффект	Эффект	Эффект	Эффект	Эффект
		Сохранить	Сохранить	Сохранить	Сохранить	Сохранить	Сохранить

Рисунок 25 – Семейство кормосмесей, близких к оптимальной по сбалансированности, полученное в одном из сеансов генерации



ОЭ	Обменная энергия	Гл	Глицин
сП	Сырой протеин	Mn	Марганец
сК	Сырая клетчатка	Zn	Цинк
Ca	Кальций	Fe	Железо
P	Фосфор общий	Cu	Медь
Рд	Фосфор доступный	Co	Кобальт
K	Калий	I	Йод
Na	Натрий	Se	Селен
Cl	Хлор	A	Витамин A
ЛК	Линолевая кислота	D3	Витамин D3
Лз	Лизин	E	Витамин E
M	Метионин	вК	Витамин K
М+Ц	Метионин + Цистин	B1	Витамин B1
T	Триптофан	B2	Витамин B2
Ар	Аргинин	B3	Витамин B3
Г	Гистидин	B4	Витамин B4
Лц	Лейцин	B5	Витамин B5
иЛц	Изолейцин	B6	Витамин B6
Ф	Фенилаланин	Bc	Витамин Bc
Ф+Т	Фенилаланин + Тирозин	H	Витамин H
Тр	Треонин	B12	Витамин B12
Вал	Валин	C	Витамин C

Рисунок 26 – Диаграммы сбалансированности кормосмеси для рецепта № 2

Через экранную кнопку «Эффект» можно перейти к оперативному анализу экономических показателей кормосмеси (рисунки 28 - 30).

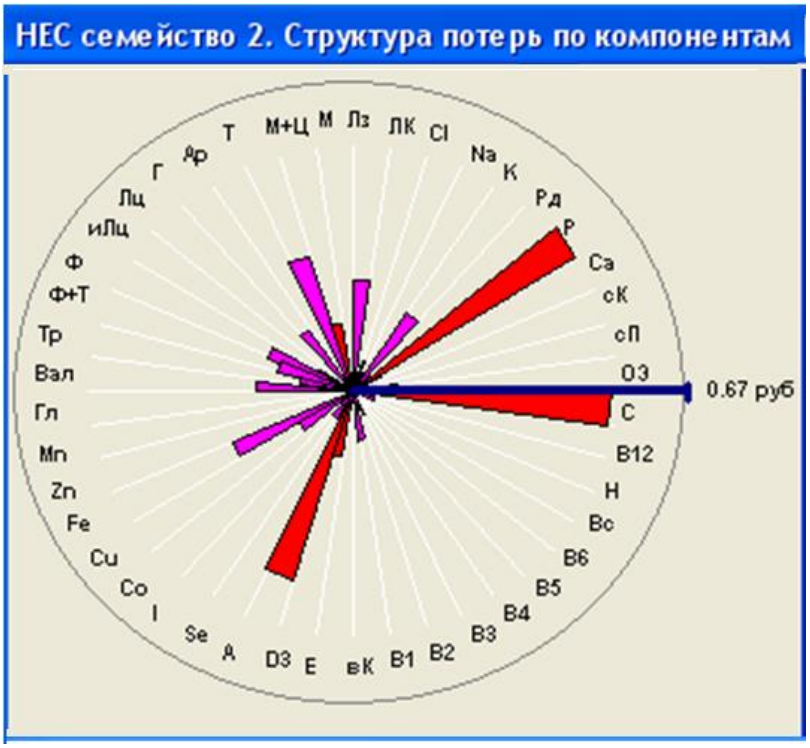


Рисунок 27 – Диаграмма потерь для рецепта № 2 кормосмеси

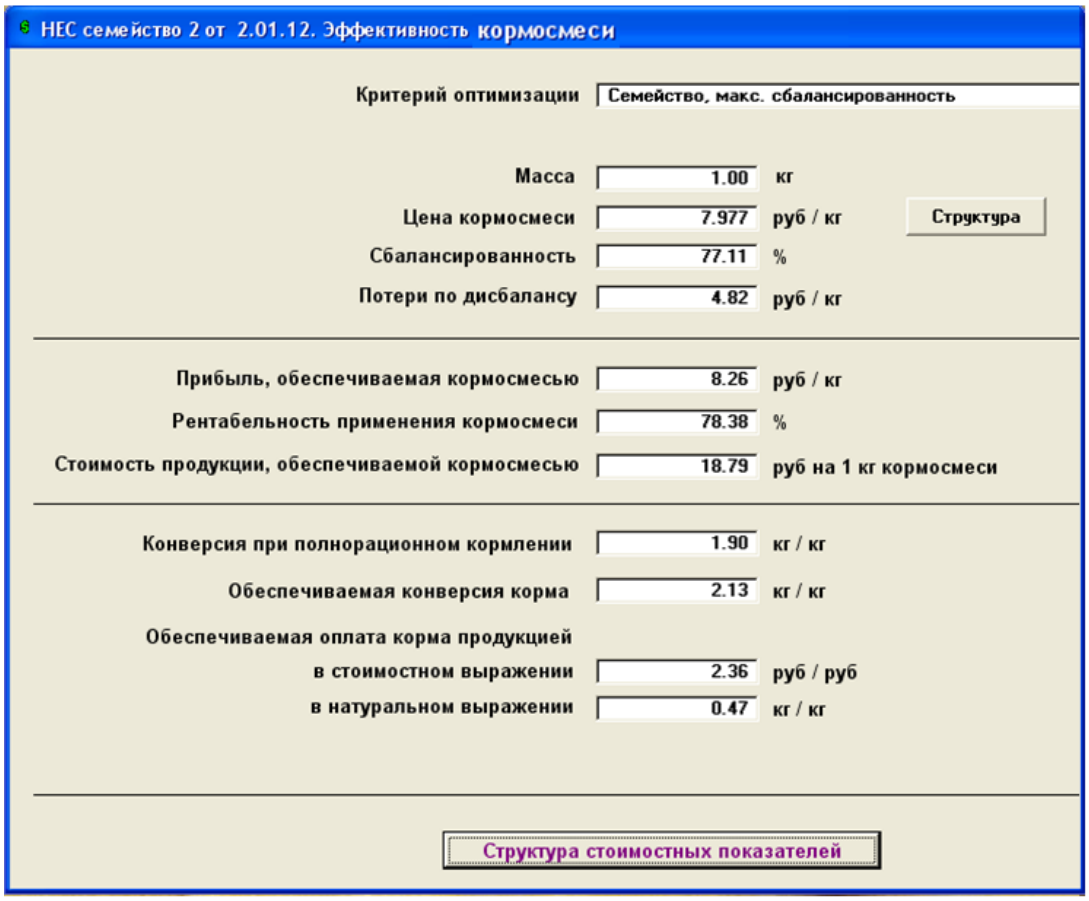


Рисунок 28 – Экономические показатели кормосмеси (рецепт № 2)

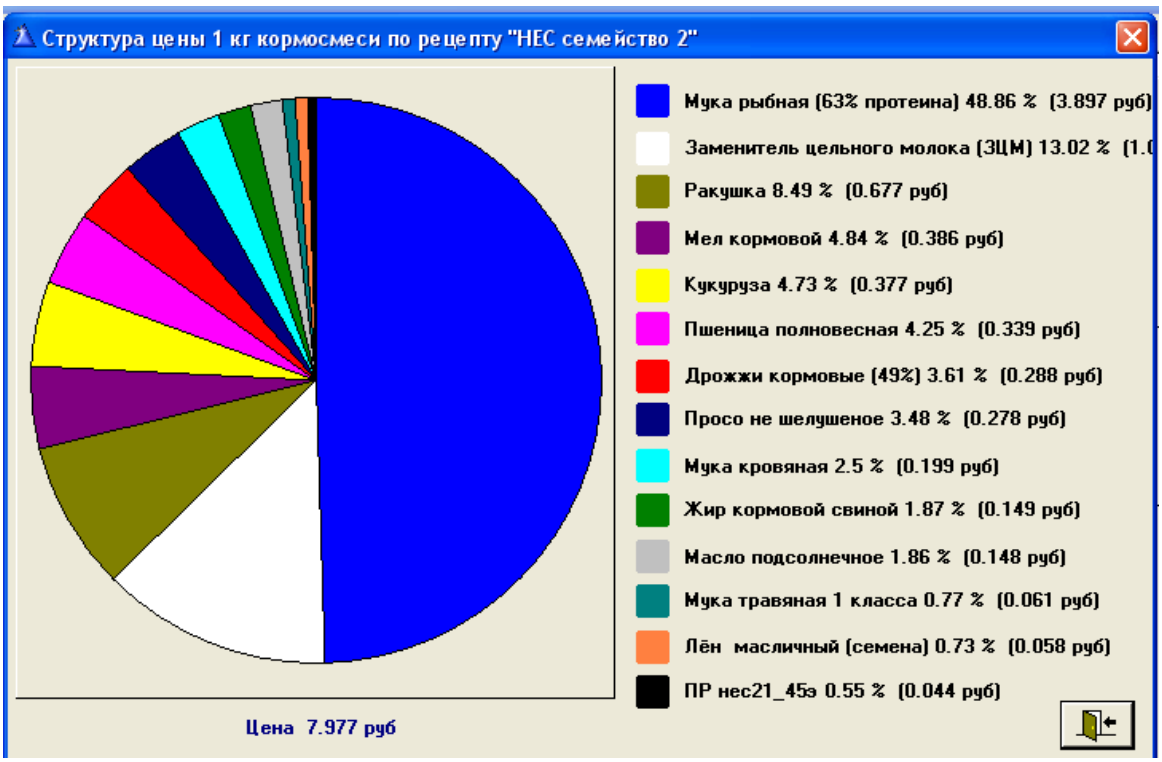


Рисунок 29 – Структура цены кормосмеси по её составляющим (рецепт № 2)

Рисунок 30 – Распределение потенциальной прибыли по издержкам и прибыли, обусловленным применением кормосмеси (рецепт № 2)

Каждый из рецептов может быть сохранён для последующего более детального анализа (экранная кнопка «Сохранить») и формирования производственного задания на подготовку кормов.

Генерация новых рецептов может повторяться многократно через закрытие текущего окна и щелчок на кнопке «Начать поиск семейства решений» (рисунок 24).

Новые рецепты раскрывают возможности вариаций в использовании кормов. В таблице 1 «Соотношение зерновых в кормосмеси» на основе первой генерации показаны допустимые вариации зерновых кормов при составлении кормосмесей, остающихся в заданном диапазоне сбалансированности. Для наглядности данные таблицы отражены в диаграмме на рисунке 31.

Таблица 1. «Соотношение зерновых в кормосмеси, %»

ЗЕРНОВОЙ КОРМ	РЕЦЕПТЫ							МИН	МАКС
	Оптималь-ный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6		
Кукуруза	30,37	1,22	16,31	52,61	5,16	5,65	12,63	1,22	52,61
Овёс	0,00	20,65	6,26	6,65	14,27	8,23	9,90	0,00	20,65
Просо	43,42	12,88	48,07	6,00	22,47	25,81	27,32	6,00	48,07
Пшеница	26,21	65,26	29,35	34,74	58,10	60,31	50,14	26,21	65,26

Из таблицы видно, что количество кукурузы в общей массе используемых зерновых кормов можно изменять от 1.22 до 52.61 %, овса – от 0 до 20.65 %, проса – от 6 до 48.07 %, пшеницы – от 26.21 до 65.26 %. Таким образом, сотрудник, ответственный за кормление птицы, получает возможность подбирать состав кормов исходя из их наличия, доступности или стоимости.

Например, на производстве сложилась такая ситуация, при которой по кукурузе возник дефицит на фоне избытка пшеницы. В этом случае для составления кормосмеси целесообразно принять рецепт № 1 из найденного семейства рецептов.

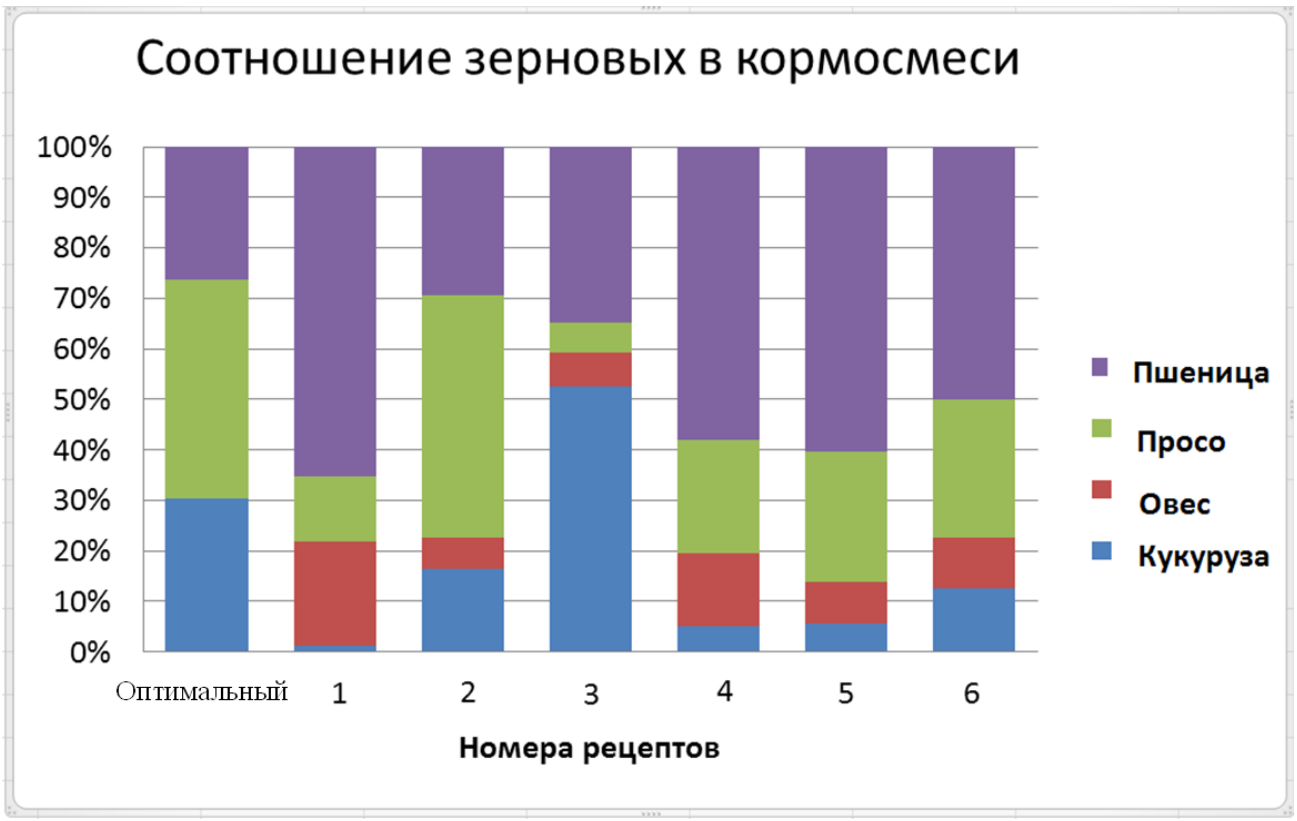


Рисунок 31 – Соотношение зерновых в разных вариантах кормосмеси при сохранении сбалансированности в заданном диапазоне

При этом, для выбранного варианта соотношения критичных кормов (в рассматриваемом случае для зерновых) может быть выполнен новый, улучшающий расчёт оптимизации кормосмеси с фиксацией данного соотношения кормов.

В программе «КОРАЛЛ – Кормление птицы» для фиксации процентного содержания отдельных кормов в кормосмеси или в группе кормов (например, в группе зерновых кормов) предусмотрены два способа:

- Задаётся процент контролируемого корма в составе кормосмеси
- Помечаются корма, входящие в контролируемую группу, и задаётся процент корма в группе.

Фиксация соотношения кормов выполняется при подготовке данных к расчёту.

На рисунке 32 приведены результаты оптимизации первого рецепта, выполненной при фиксации в кормосмеси количества кукурузы, овса, проса и пшеницы в соответствии с данными, приведёнными на рисунке 25.

21-45 недель, критерий Макс. сбалансированность

Результат | Поиск семейства | Сбалансированность 79.06 %

Исходный набор | Рецепт | Рецепт по группам

Наименование	%	Мин, %	Расчет	Макс, %
Дрожжи кормовые (49%)	3.000	0.00	30.000 г	3.00
Жир кормовой свиной	0.500	0.00	5.000 г	0.50
Заменитель цельного молока (ЗЦМ)	2.732	0.00	27.320 г	10.00
Кукуруза	0.710	0.71	7.100 г	0.71
Лён масличный (семена)	7.720	0.00	77.200 г	20.00
Масло подсолнечное	1.703	0.00	17.032 г	5.00
Мел кормовой	5.000	0.00	50.000 г	5.00
Мука кровяная	1.556	0.00	15.556 г	10.00
Мука рыбная (63% протеина)	10.000	0.00	100.000 г	10.00
Мука травяная 1 класса	4.371	0.00	43.708 г	10.00
Овёс не шелушёный	12.010	12.01	120.100 г	12.01
Просо не шелушеное	7.490	7.49	74.900 г	7.49
ПР НЕСБ 21-45э	1.160	0.00	11.597 г	1.20
Пшеница полновесная	37.960	37.96	379.600 г	37.96
Ракушка	4.089	0.00	40.887 г	15.00

Сохранить | Сбалансированность | Питательность | Компонент | Эффективность

Рисунок 32 – Результат расчёта оптимальной кормосмеси при фиксированных долях зерновых кормов по рецепту № 1

Сбалансированность исходной кормосмеси улучшилась с 76.17 % до 79.06 % и приблизилась к сбалансированности оптимальной кормосмеси (79.18 %).

Для задания структуры зерновой группы вызывается диалоговое окно «Задание структуры», корма помечаются и для них задаются диапазоны допустимого процентного содержания в структурируемой группе (рисунок 33).

Задание структуры

Все корма | Выбранные корма

Состав	в структуре, %		в кормосмеси, %	
	Мин	Макс	Мин	Макс
Дрожжи кормовые (49%)	0.00	0.00	0.00	12.00
Жир кормовой свиной				
Заменитель цельного молока (ЗЦМ)				
✓ Кукуруза	1.22	1.23	0.00	80.00
Лён масличный (семена)				
Масло подсолнечное				
Мел кормовой				
Мука кровяная				
Мука рыбная (63% протеина)				
Мука травяная 1 класса				
✓ Овёс не шелушёный	20.50	20.65	0.00	40.00
ПР НЕСБ 21-45э				
✓ Просо не шелушеное	12.80	12.90	0.00	30.00
✓ Пшеница полновесная	65.00	66.00	0.00	80.00
Ракушка				
	99.5	100.8	0.0	230.0

✓ | Отмена всех кормов

Доля структурируемых кормов 57.81 %

Рисунок 33 – Структуризация зерновых кормов по рецепту № 1

Результаты оптимизации рецепта № 1 при структуризации зерновых кормов приведены на рисунке 34.

21-45 недель, критерий Макс. сбалансированность

Результат | Поиск семейства

Сбалансированность 79.11 %

Исходный набор | Рецепт | Рецепт по группам

Наименование	%	Мин. %	Расчет	Макс. %
Дрожжи кормовые (49%)	6.890	0.00	68.899 г	12.00
Жир кормовой свиной	2.319	0.00	23.192 г	5.00
Заменитель цельного молока (ЗЦМ)				
Кукуруза	0.705	0.00	7.053 г	80.00
Лён масличный (семена)	8.620	0.00	86.200 г	20.00
Масло подсолнечное				
Мел кормовой	5.000	0.00	50.000 г	5.00
Мука кровяная				
Мука рыбная (63% протеина)	10.000	0.00	100.000 г	10.00
Мука травяная 1 класса	3.973	0.00	39.733 г	10.00
Овёс не шелушёный	11.857	0.00	118.568 г	40.00
Просо не шелушеное	7.400	0.00	73.997 г	30.00
ПРЧЁСБ 21-45э	1.140	0.00	11.395 г	1.20
Пшеница полновесная	37.848	0.00	378.482 г	80.00
Ракушка	4.248	0.00	42.481 г	15.00

Сохранить | Сбалансированность | Питательность | Компонент | Эффективность | ✓ Структура

Рисунок 34 – Результат расчёта оптимальной кормосмеси при структуризации зерновых кормов по рецепту № 1

Сбалансированность кормосмеси по рецепту № 1 улучшилась с 76.17 % до 79.11 % и приблизилась к сбалансированности оптимальной кормосмеси.

Для производственной ситуации, когда имеется избыток кукурузы и проса, а количество пшеницы ограничено, из найденного семейства рецептов целесообразно выбрать рецепт № 3.

Расчёт семейства рецептов рационов и кормосмесей, близких к оптимальному рецепту, с последующей дополнительной их оптимизацией предоставляет специалисту по кормлению качественно новый инструмент балансирования рационов и кормосмесей, позволяющий широко манипулировать количеством используемых кормов при сохранении значений критериев оптимизации близкими к оптимальному.

2.7. Оптимизация рационов по методу Монте-Карло

Оптимизация рационов по методу Монте-Карло (или по методу случайного поиска) является альтернативой по отношению к строгой оптимизации и обеспечивает получение большего количества вариантов решения по критериям оптимизации и набору кормов в рационе.

Перед началом расчёта задаётся количество генераций рецептов рациона – длительность расчёта (рисунок 35).

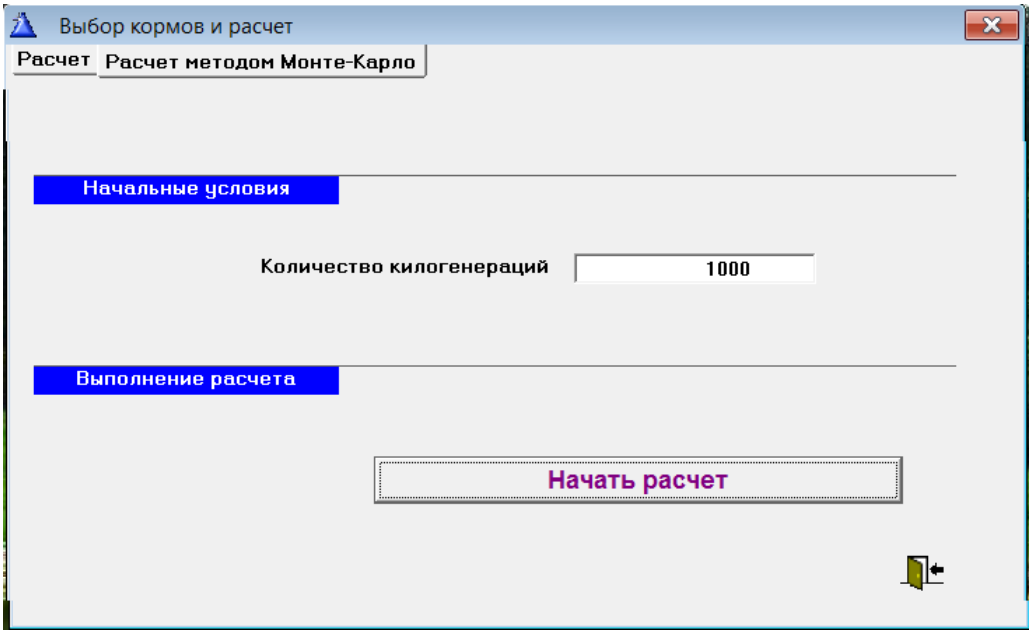


Рисунок 35 – Задание длительности расчёта

По щелчку на кнопке «Начать расчет» раскрывается окно «Расчет по методу Монте-Карло» (рисунок 36).

При оптимизации рационов по методу Монте-Карло одновременно отслеживаются четыре показателя, характеризующие рацион: прибыль, сбалансированность, рентабельность и продуктивность. Рационы с лучшими значениями показателей запоминаются. Таким образом, программой во время расчёта хранятся и обновляются одновременно четыре рациона. Лучшие варианты этих рационов выдаются как результат оптимизации. Рецепт каждого из рационов может быть сохранён, детально проанализирован и применён на практике кормления животных.

Сохранение рецептов найденных рационов выполняется с помощью кнопок сохранения результатов.

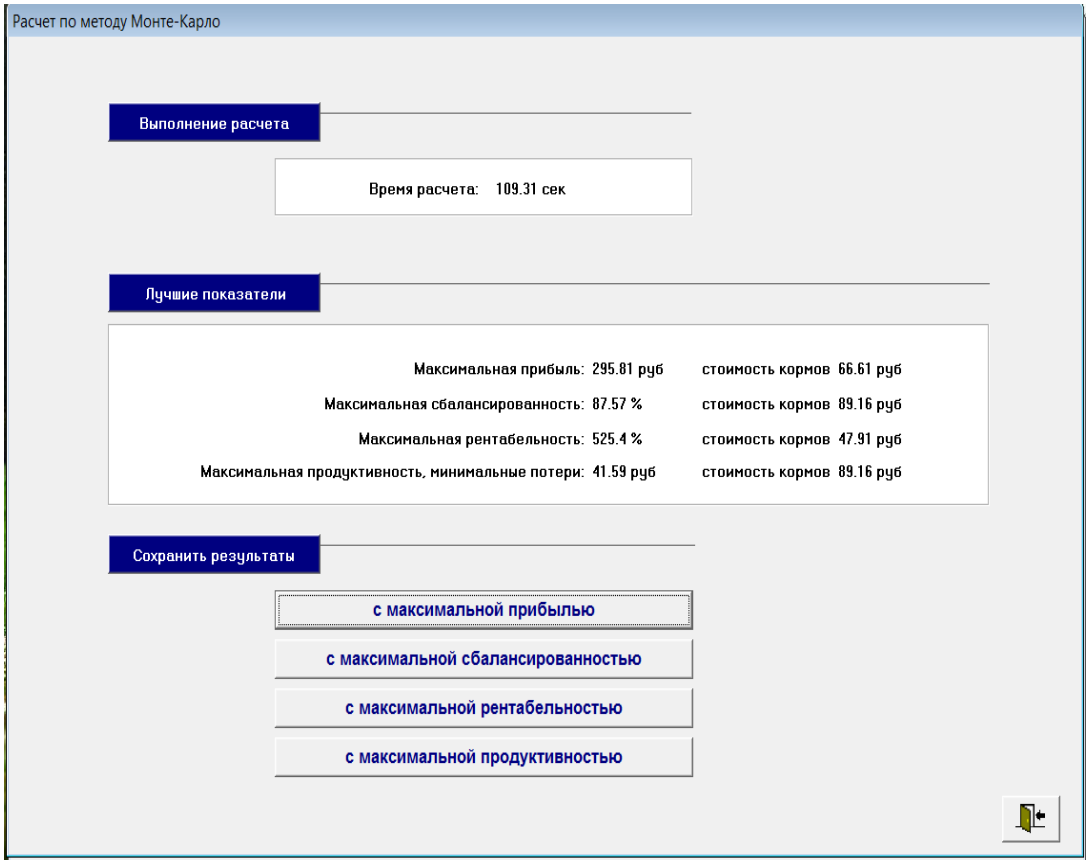


Рисунок 36 – Окно демонстрации оптимизации рациона по методу Монте-Карло

2.8. Оптимизация группового кормления коров

С точки зрения удовлетворения потребностей животных в питании наиболее эффективным является индивидуальное кормление. Но оно «дорого стоит» – требует больших затрат труда или применения дорогого оборудования с автоматизацией индивидуального приготовления и раздачи корма раздельно каждому животному. Поэтому в скотоводстве чаще применяется групповое, а не индивидуальное кормление.

При групповом способе кормления коров рацион для группы в целом обычно рассчитывается по характеристикам коровы со средним удоем. При этом часть коров оказывается недокормленной, часть перекормленной, и корм частично остается несъеденным.

Недокорм и перекорм коров ведут к потерям по продуктивности, племенным качествам животных, воспроизводству, что снижает экономические показатели производства молока.

Иногда рацион планируют, ориентируясь на корову с минимальным или с максимальным удоем. Однако ни один из вариантов планирования группового рациона – по корове со средним, минимальным или максимальным удоем не обеспечивает получения максимального экономического эффекта. Оптимальный рацион зависит от состава группы, изменяется в зависимости от физиологического состояния коров и является «блуждающим» от минимального до максимального рациона.

Нахождение рациона, оптимального по тому или иному критерию для группы коров требует учета для каждой коровы индивидуальных характеристик и динамики удоя в течение планируемого периода кормления.

В программе «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота» индивидуальные характеристики коров могут заноситься в соответствующий справочник программы или считываться из программы «КОРАЛЛ – Ферма КРС». Динамика удоев коров учитывается посредством моделирования кривых лактации.

При оптимизации группового кормления коров программа выдает рецепт рациона или кормосмеси (для кормления вволю), обеспечивающих в целом по группе максимум показателя, указываемого в критерии оптимизации, за заданный период времени.

При оптимизации группового рациона или кормосмеси программа работает следующим образом.

Из зарегистрированных в справочнике программы групп коров или групп, сформированных в программе «КОРАЛЛ – Ферма КРС», выбирается группа для планирования кормления. Затем раскрывается диалоговое окно для задания исходных данных (рисунок 37), к которым относятся цена реализуемого молока и период кормления.

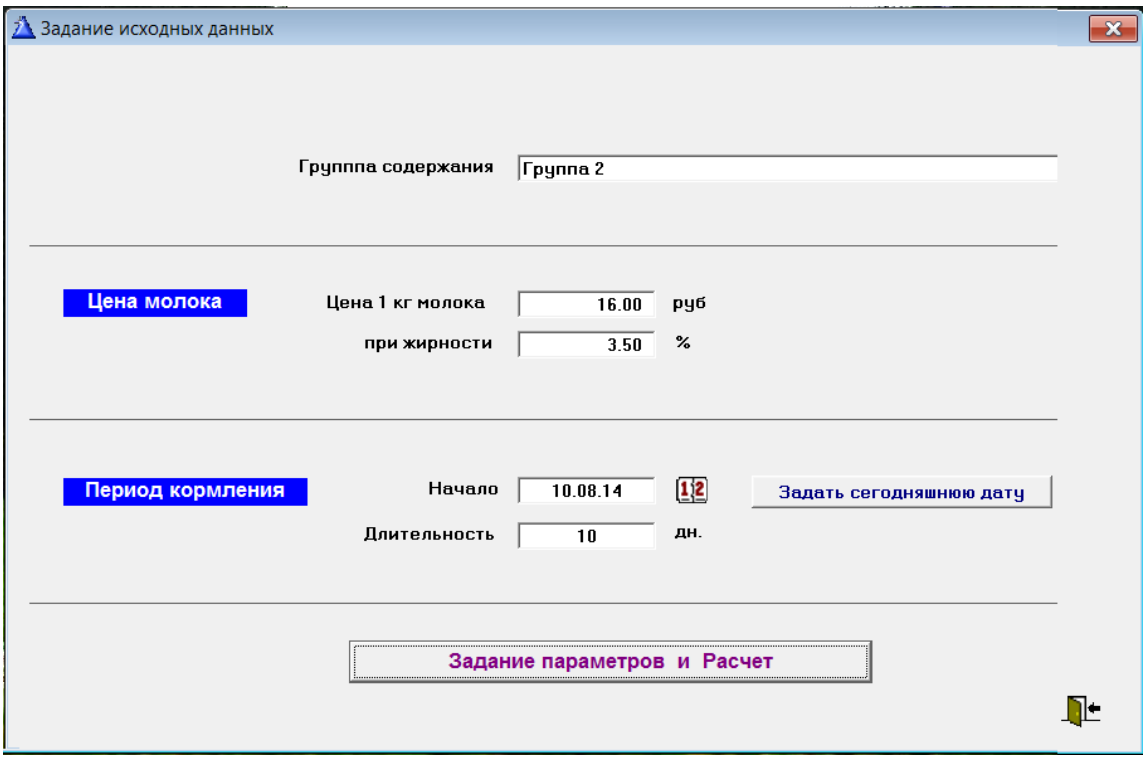


Рисунок 37 – Задание исходных данных перед расчетом группового рациона

По щелчку на кнопке «Задание параметров и Расчет» раскрывается окно «Выбор животных группы» с перечнем коров группы. Все коровы, которые должны учитываться при расчете рациона, помечаются галочками (пример приведён на рисунке 38).

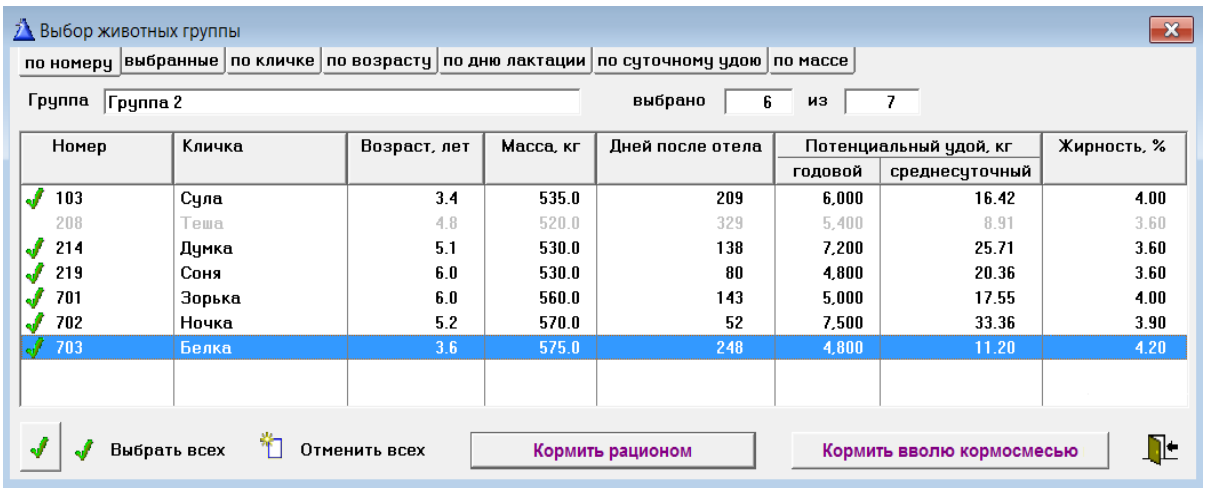


Рисунок 38 – Выбор коров для расчета группового рациона

После этого следует сделать выбор между расчетом рациона (кнопка «Кормить рационом») и расчетом кормосмеси (кнопка «Кормить вволю кормосмесью») щелчком на соответствующей кнопке; указать корма для расчета рациона (кормосмеси) и задать критерий оптимизации.

По окончании расчета раскрывается окно «Результаты расчета». На рисунках 39 и 40 приведены результаты расчетов рациона и кормосмеси для рассматриваемого примера.

Наименование	%	мин, кг	Расчет	макс, кг	Стоимость	МДж
Зерно ячменя	12.562	0.000	5.294 кг	6.000	15.88	55.59
Отруби пшеничные	11.266	0.000	4.748 кг	5.000	6.65	42.02
Патока кормовая	5.733	0.000	2.416 кг	2.500	5.32	22.61
Сено разнотравно-злаково-бобовое	1.595	0.000	672.000 г	8.000	1.21	4.70
Силос горохо-вико-овсяный	59.391	0.000	25.030 кг	35.000	17.52	53.56
Солома пшеничная, озимая	9.453	0.000	3.984 кг	6.000	3.19	18.96

Влажность 50.98 %

Сохранить Эффективность

Рисунок 39 – Результаты расчета группового рациона

Наименование	%	мин, кг	Расчет	макс, кг	Стоимость	МДж
Зерно ячменя	11.573	0.000	5.273 кг	6.000	15.82	55.36
Отруби пшеничные	8.354	0.000	3.806 кг	5.000	5.33	33.68
Патока кормовая	5.487	0.000	2.500 кг	2.500	5.50	23.40
Силос горохо-вико-овсяный	70.092	0.000	31.934 кг	35.000	22.35	68.34
Солома пшеничная, озимая	4.493	0.000	2.047 кг	6.000	1.64	9.74

Влажность 57.35 %

Сохранить Эффективность

Рисунок 40 – Результаты расчета кормосмеси для группового кормления коров

Через кнопку «Эффективность» можно вызвать окна с показателями, характеризующими эффективность группового кормления суммарно на всю группу (рисунки 41, 42) или усреднённо на одну корову.

ГР 2 - 1008_10 от 27.08.14. Эффективность рациона. Группа "Группа 2", 6 гол, 10 дн. кормления

Критерий оптимизации	Макс. сбалансированность	
Общая стоимость кормов	2923	руб
Масса	2492.46	кг
Цена кормосмеси	1.173	руб / кг
Сбалансированность	76.94	%
Потери по дисбалансу	5391	руб
Прибыль, обеспечиваемая рационом	13836	руб
Рентабельность применения рациона	299.43	%
Стоимость продукции, обеспечиваемой рационом	18457	руб
Потенциальный удой	1246	кг жирностью 3.84 %
Обеспечиваемый удой	1061	кг жирностью 3.84 %
Обеспечиваемая оплата корма продукцией в стоимостном выражении	6.31	руб / руб
ЭКЕ на производство молока	0.98	ЭКЕ / кг

Структура стоимостных показателей Эффективность на 1 голову в сутки

Рисунок 41 – Показатели применения рассчитанного группового рациона (на группу в заданный период времени)

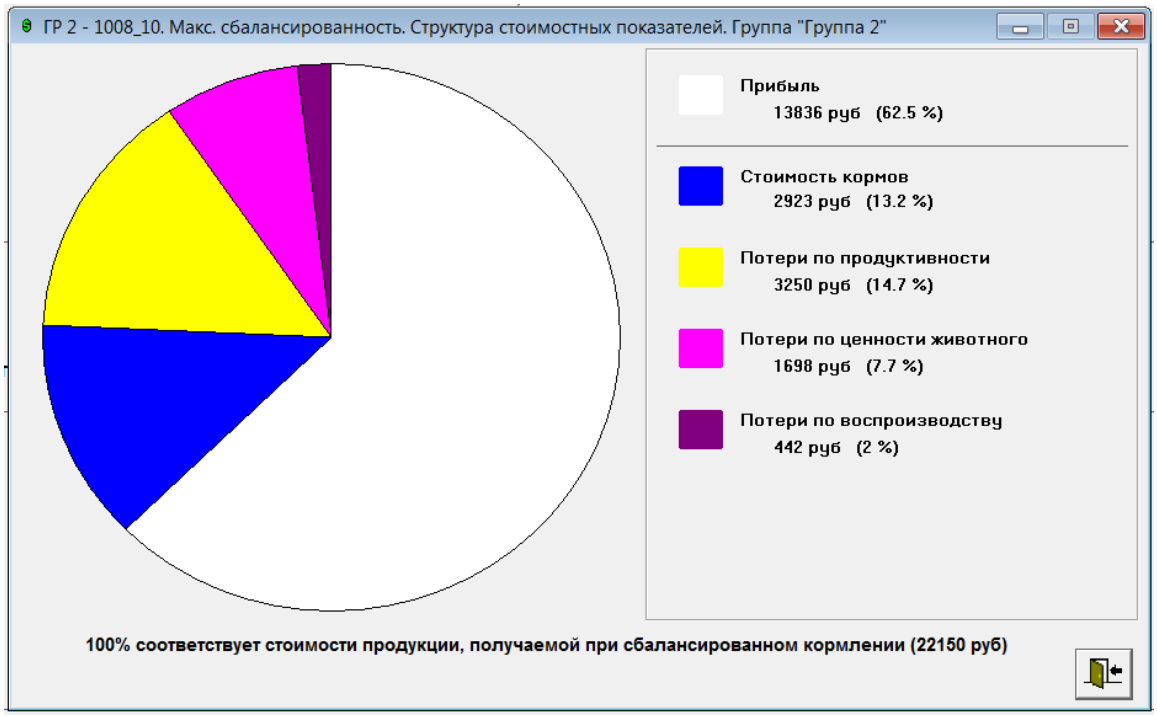


Рисунок 42 – Стоимостные показатели кормления группы рассчитанным рационом

Детальный анализ эффективности кормления группы коров может быть выполнен через позицию меню «Анализ. Рационы». На рисунке 43 представлено заглавное диалоговое окно анализа.

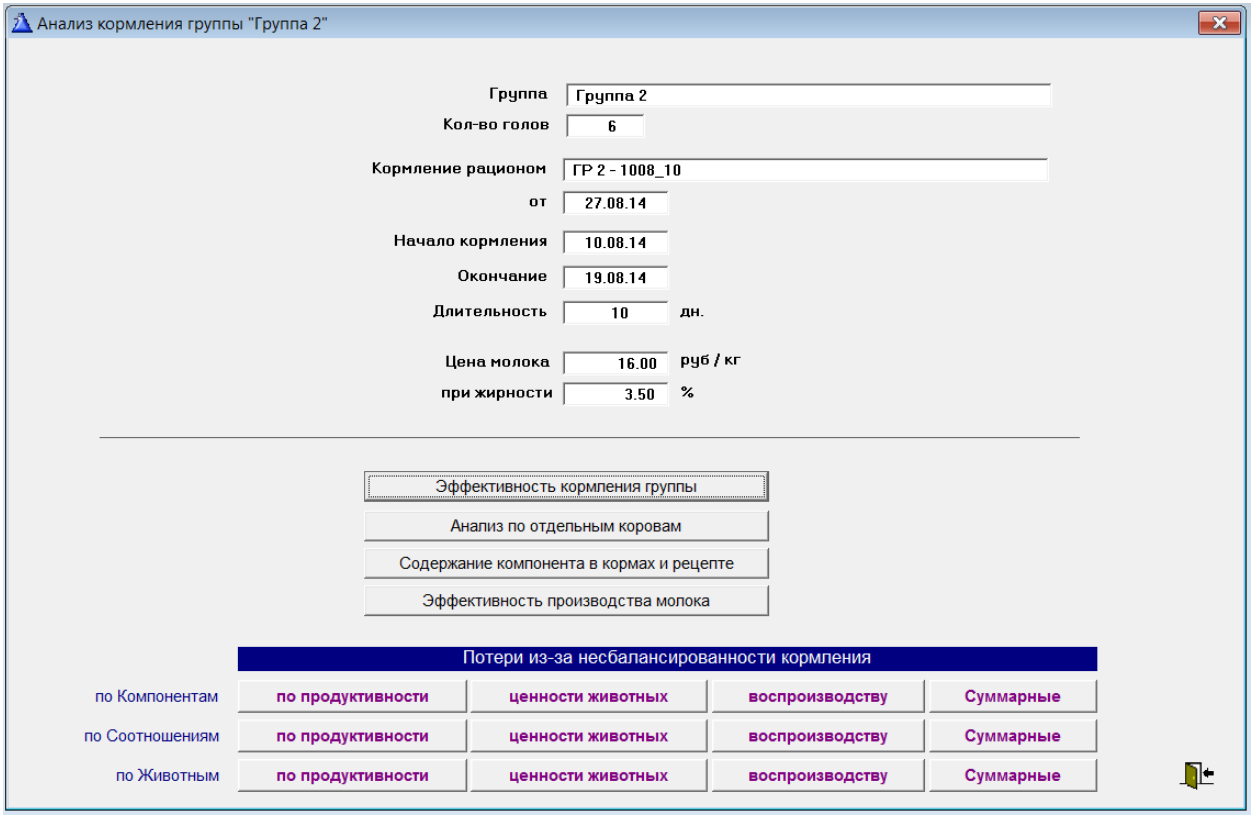


Рисунок 43 – Заглавное диалоговое окно анализа группового кормления коров

Оптимизация группового кормления коров обеспечивает повышение эффективности использования коров и снижение затрат на корма.

2.9. Векторная оптимизация рационов

Программные комплексы «КОРАЛЛ – Кормление» позволяют оптимизировать рационы для сельскохозяйственных животных под разные задачи производства. В зависимости от текущей хозяйственной или экономической ситуации руководители и специалисты сельскохозяйственной организации могут при расчёте рационов задавать тот или иной локальный критерий оптимальности. Однако Лицо, принимающее решение, может интересовать интегрированная оптимизация по нескольким показателям. В этом случае применяется глобальный критерий оптимальности, представляющий собой вектор из нескольких локальных критериев, и оптимизация рациона переходит в категорию векторной, или многокритериальной оптимизации.

При этом математически глобальный критерий следует представить в виде скалярной целевой функции, которая обобщенно выражает многообразие целей.

Например, один из вариантов глобального критерия оптимизации рациона для лактирующих коров описывается следующим выражением:

$$W(\alpha) = f(ПР(\alpha),\ У_{об}(\alpha),\ С_{рац}(\alpha),\ СБ(\alpha)),$$

а задача оптимизации записывается в виде:

$$W(\alpha) \rightarrow \text{опт}$$

$$\alpha \in A;$$

где A – варианты рациона, рассматриваемые как альтернативы;

$W(\alpha)$ – значение глобального критерия, соответствующего рациону α;

$ПР(\alpha)$ – прибыль, получаемая от конверсии кормов рациона α в продукцию;

$У_{об}(\alpha)$ – удой, обеспечиваемый рационом α;

$С_{рац}(\alpha)$ – стоимость рациона α;

$СБ(\alpha)$ – сбалансированность рациона α;

f(...) – свёртка (некоторая функция от значений компонентов векторного критерия).

Перевод векторного представления глобального критерия в скалярное представление требует решения ряда специфических вопросов, к которым относятся:

- Нормирование – приведение локальных критериев к единому масштабу и безразмерному виду.
- Учет приоритета критериев – математическое описание приоритета локальных критериев по степени влияния каждого из них на решение задачи.
- Свертывание векторного критерия в скалярный.

Наиболее распространенным способом нормирования является замена абсолютных значений критериев их относительными величинами.

Локальные критерии оптимальности рациона имеют различные единицы измерения и шкалы. Чтобы обеспечить однородность локальных критериев, в программах критерии приводятся к безразмерному виду путём деления текущего значения соответствующего показателя на максимально возможное.

Предусмотрено задание Пользователем весовых коэффициентов локальных критериев в составе глобального критерия.

Глобальный критерий в скалярном выражении представляет собой аддитивную свертку компонентов векторного критерия, описываемую выражением:

$$W(\alpha) = \lambda_1 пр(\alpha) + \lambda_2 у_{об}(\alpha) - \lambda_3 с_{рац}(\alpha) + \lambda_4 сб(\alpha)$$

где $пр(\alpha)$, $у_{об}(\alpha)$, $с_{рац}(\alpha)$, $сб(\alpha)$ – нормированные значения локальных критериев;

λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 – весовые коэффициенты соответствующих локальных критериев.

Целевая функция имеет вид:

$$W(\alpha) \longrightarrow max.$$

В таблице 2 приведены результаты оптимизации рациона по описанному глобальному критерию для группы из двенадцати коров на десять дней. В таблице приведены абсолютные (абс.) и относительные (отн.) значения критериев оптимального рациона.

Таблица 2. Показатели эффективности группового рациона, оптимизированного по глобальному критерию

Значение глобального критерия (отн.)	Показатели эффективности рациона (значения локальных критериев)							
	Прибыль от конверсии корма		Обеспечиваемый удой за период		Общая стоимость кормов		Интегральная сбалансированность	
	абс. (руб.)	отн.	абс. (кг)	отн.	абс. (руб.)	отн.	абс. (%)	отн.
1.30	17378	0.54	1826	0.88	8355	0.84	81.4	0.81

При расчёте были приняты следующие весовые коэффициенты локальных критериев:

- максимум прибыли (λ_1) = 1;
- максимум удоя (λ_2) = 0.5;
- минимум стоимости рациона (λ_3) = 0.4;
- максимум сбалансированности рациона (λ_4) = 0.8.

2.10. Оптимизация рационов при программируемом росте животных

Для правильного развития молодняка сельскохозяйственных животных и/или получения животноводческой продукции высокого качества требуется соблюдать определенную закономерность роста массы животных.

Оптимальная динамика прироста массы животных определяется посредством моделирования физиологических процессов роста, либо путем проведения натурных экспериментов [5 – 7].

Основным регулятором прироста выступает суточный рацион. При этом задача оптимизации рациона формулируется следующим образом: «Составить рацион, обеспечивающий заданный прирост массы животных при максимальной экономической эффективности использования кормов».

При данной постановке задачи методика оптимизации рациона при программировании прироста массы животных может иметь два варианта – «одношаговый» и «многошаговый».

1-й вариант – «одношаговый»

Оптимизация рациона для получения заданного прироста массы животных по 1-му варианту ориентирована на раздельную оптимизацию рационов по приросту, задаваемому для каждого шага наращивания массы. При этом в качестве исходных данных для расчёта берутся усреднённые по «шагу» характеристики животного и заданный суточный прирост массы.

В этом случае оптимизация выполняется по методике планирования рационов для индивидуального дозированного кормления животных [4, 8] с использованием одного из критериев:

- максимальная прибыль при заданной продуктивности;
- максимальная рентабельность при заданной продуктивности;
- минимальная стоимость рациона при заданной продуктивности.

2-й вариант – «многошаговый»

При отсутствии требования обеспечить задаваемый пошаговый прирост массы альтернативой по отношению к 1-му варианту может служить следующая постановка задачи: «Составить серию рационов, обеспечивающих требуемый прирост массы животного за заданный период времени при максимальной экономической эффективности использования кормов».

При такой постановке задача оптимизации рациона попадает в класс задач оптимального управления и в рамках теории оптимального управления формулируется следующим образом:

«Требуется найти такую динамику кормления (траекторию управления), при которой масса животного вырастет от начального значения m_0, соответствующего моменту времени t_0, до требуемого значения m_1, соответствующего заданному моменту времени t_1, с минимальной стоимостью кормов».

Таким образом, объектом управления выступает животное, состояние которого характеризуется двумя фазовыми переменными: «*масса»* и *«суточный прирост массы»*.

Вектором управления является суточный рацион.

За функционал качества принимается стоимость кормов, расходуемых на одно животное за период откорма.

Время изменяется дискретно, квант времени – 1 сутки.

После приведения задачи к стандартному виду задач теории оптимального управления, условия задачи описываются следующим образом:

Фазовый вектор объекта является двумерным:

$$\boldsymbol{x} = (x^1, x^2)$$

x^1 – масса животного;

x^2 – суточный прирост массы.

Управление задаётся вектором кормов рациона:

$$\boldsymbol{u}(t) = (u^1(t), ..., u^k(t) ..., u^m(t))$$

$u^k(t)$ – масса k-го корма в рационе t-го дня откорма;

m – количество кормов рациона.

Функционал качества описывается выражением:

$$J(\boldsymbol{u}(t), \boldsymbol{x}(t)) = \sum_{j=t_0}^{j=t_1} C_{рац\,j} \longrightarrow min$$

$J(\boldsymbol{u}(t), \boldsymbol{x}(t))$ – функционал качества;

$C_{рац\,j}$ – стоимость рациона в j–тый день откорма; $j \in [t_0, t_1]$.

Задача решается в следующей последовательности.

1) Оценивается управляемость объекта, т.е. проверяется возможность выполнения требуемого откорма в заданный период времени имеющимися кормами.

Для оценки управляемости объекта выполняется серия расчётов рационов по критерию «максимальная продуктивность» на период откорма с дискретностью в один день.

Если в конце периода требуемая масса животного не достигнута, то делается заключение, что объект неуправляем, и следует пересмотреть исходные данные задачи.

Если требуемая масса животного достигнута, то делается заключение, что объект управляем. В этом случае управление $\boldsymbol{u}^0(t)$ и траектория $\boldsymbol{x}^0(t)$ запоминаются и решение задачи продолжается.

2) Определяется оптимальная траектория управления и соответствующая ей фазовая траектория объекта.

При выращивании и откорме животных при движении от t_0 к t_1 оплата корма снижается, так как при этом масса животных растёт и, соответственно, увеличивается доля рациона, идущая на поддержание их жизни. Поэтому с целью минимизации расхода кормов следует прирост массы в конце периода делать минимально допустимым с точки зрения сохранности здоровья животных и соблюдения технологических условий их роста. Поэтому на этом шаге решения задачи для определения оптимальной траектории управления выполняется «обратный» расчёт изменения массы животного, при движении от t_1 к t_0, по критерию «минимальная стоимость при заданной продуктивности». Рисунок 44 иллюстрирует последовательность решения задачи через изменение во времени массы животного ($x^1(t)$).

Кривая $x^{01}(t)$ отображает первый шаг решения – оценку управляемости. Кривая $x^1(t)$ соответствует оптимальному управлению; стрелка указывает направление последовательности вычислений при определении оптимальной траектории управления. Расчёт рационов по минимальному приросту начинается с момента времени t_1 (точка С) и продолжается до пересечения с кривой $x^{01}(t)$ (точка В). На участке ВА рационы рассчитываются по максимальному приросту. Найденные рационы определяют оптимальное управление для откорма животного с начальной массой $x^1(t_0)$ до требуемой массы $x^1(t_1)$ при минимальной стоимости кормов (траектория АВС).

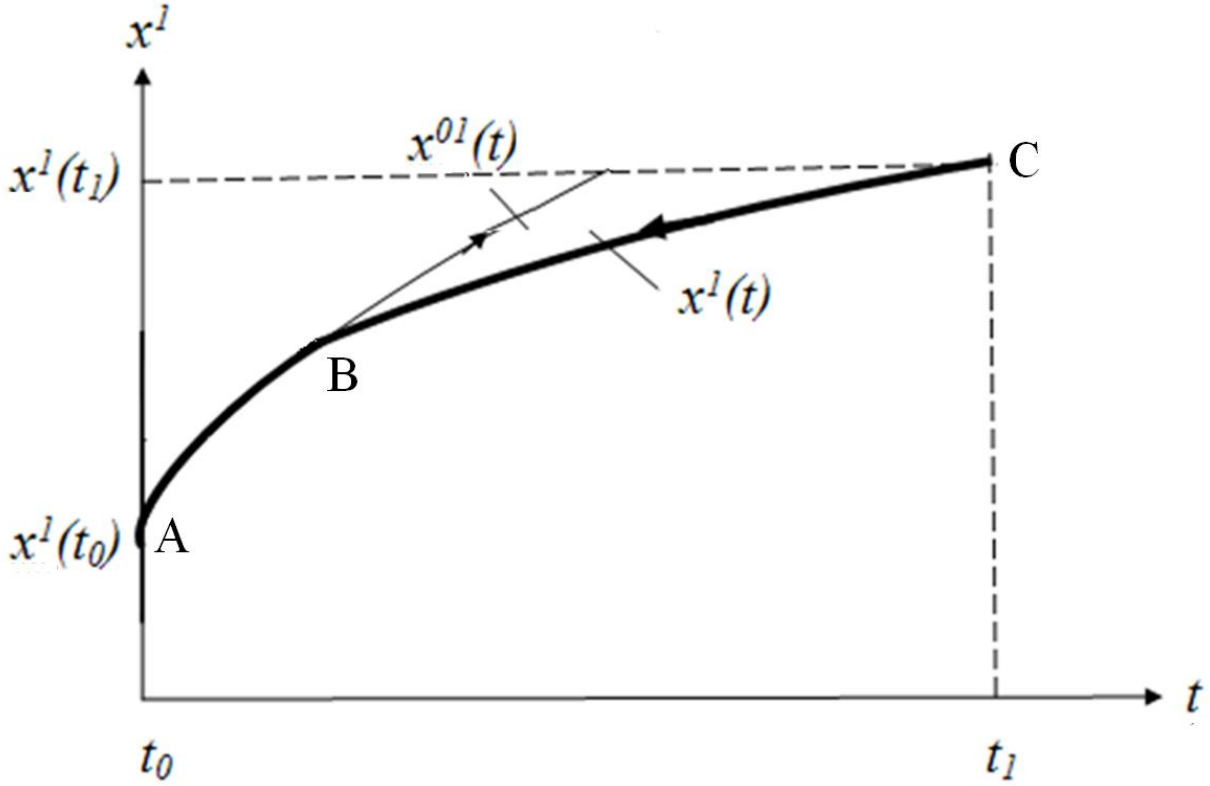


Рисунок 44 - Иллюстрация к работе алгоритма оптимизации управления при откорме животных

Программные комплексы «КОРАЛЛ» предназначены для руководителей и специалистов животноводческих и комбикормовых предприятий, и на сегодняшний день являются апробированным эффективным инструментом анализа и планирования кормления животных, производства комбикормов, белково-витаминных добавок и премиксов.

Литература:

1. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. Учебник. / Гатаулин А.М., Гаврилов Г.В., Сорокина Т.М. и др. Под ред. А.М. Гатаулина. – М.: Агропромиздат, 1990
2. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. Новая информационная технология оптимизации рационов для сельскохозяйственных животных // Научно-теоретический и практический журнал «ОРАЛДЫН ГЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ», № 27 (106), 2014

3. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. Расчет потенциального удоя коров с целью повышения их продуктивности // «Эффективное животноводство», № 9, 2014
4. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. Типовые комплексы программ «КОРАЛЛ» // «АгроРынок», № 11, 2012
5. Дудин В.И., Черепанов Г.Г., Кузнецов С.Г., Манухина А.И. Экспериментальная апробация системной модели роста свиней. // Проблемы физиологии, биохимии, биотехнологии и питания сельскохозяйственных животных. - Боровск, 1994
6. Куценко А.И. Математическое моделирование и оптимизация параметров производства на комплексах по откорму крупного рогатого скота. // Диссертация на соиск. уч. степени канд. эк. наук. - М., 2007
7. Черепанов Г.Г., Агафонов В.И. Обоснование оптимальной интенсивности роста и наиболее целесообразных сроков убоя при выращивании и откорме крупного рогатого скота. // «Зоотехния», № 3, 1994
8. www.korall-agro.ru