

зились до 7,8 или на 8,2 %. Обработка тритикале на всудудере по сравнению с размолом уменьшила затраты кормов с 8,0 до 7,6 к.ед. или на 5 %. Установлена тенденция к повышению среднесуточного прироста у молодняка, потреблявшего в составе комбикорма размолотый тритикале по сравнению с рожью с 932 до 1002 г или на 7,5 %. Затраты кормов снизились при этом на 5,8 %.

Заключение

Скармливание бычкам термовстудированного зерна ржи и тритикале способствовало увеличению содержания в рационах сахара на 9-12 %, ускорению процессов пищеварения в рубце, повышению среднесуточных приростов на 9-13 % и снижению затрат кормов на 8,2-5,0 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / Н.А. Попков [и др.]. – Жодино: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.

2. Технологии производства молока и говядины: учеб.-методич. пос. / Н.В. Казаровец [и др.]; под общ. ред. В.А. Ляндышева. – Минск: БГАТУ, 2011. – 120 с.

3. Производственные технологии заготовки и использование кормов / Н.В. Казаровец [и др.]; под общ. ред. П.П. Ракецкого. – Минск: БГАТУ, 2009. – 117 с.

4. Термовстудирование зерна злаковых и бобовых культур при производстве комбикормов / В.А. Шаршунов [и др.] // Известия Академии аграрных наук Респ. Беларусь, 1999. – №4. – С. 72-75.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.01.2017

УДК 631.15: 004.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕВООБОРОТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В КОНТЕКСТЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЗЕМЕЛЬ

А.М. Карпович,

ст. преподаватель каф. прикладной информатики БГАТУ

В статье рассматривается выбор метода оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур для получения высокой урожайности при наименьших затратах на ресурсы производства. Большое внимание уделяется интенсивным способам развития новейшей технологии, применению современных методов оптимизации и построению математической модели получения оптимального севооборота выбранных культур.

Ключевые слова: севооборот, оптимальный севооборот, метод оптимизации, динамическое программирование, баланс гумуса.

The article deals with the choice of optimization method of agricultural crops cultivation to produce high yields by the lowest cost of production resources. Much attention is given to intensive methods for development of new technology for application of modern optimization methods and mathematical model for optimal crop rotation of the selected crops.

Keywords: crop rotation, optimum crop rotation, optimization technique, dynamic programming, humus balance.

Введение

Земля – основа любой хозяйственной деятельности и существования человека. Уникальным свойством сельскохозяйственных земель является плодородие, т.е. способность постоянно производить биомассу. Соответственно, задача сохранения и улучшения плодородия земель является фундаментальным направлением устойчивого развития государства.

Основная проблема в земельном фонде Республики Беларусь – снижение площади сельскохозяйственных земель. По официальным данным земельного учета, по состоянию на январь 2016 года общая площадь земельного фонда Республики Беларусь со-

ставляет 20760,0 тыс. га. На сельскохозяйственные земли приходится 8894,6 тыс. га (42,8 %).

В период с 2001 по 2015 гг. отмечалась отрицательная тенденция динамики площади сельскохозяйственных земель. За это время общая площадь, занятая сельскохозяйственными организациями, снизилась с 9257,7 до 8894,6 тыс. га, что составило (-4,1 %) [1].

Экономическое благополучие организации и сохранение плодородия земель вступают в противоречие, т.к. активное использование сельскохозяйственных земель приводит к уменьшению уровня плодородия. Решением данной проблемы является использование севооборотов, которые позволяют оказывать положительное влияние на плодородие. Севооборот

представляет собой моделирование временной зависимости процесса чередования сельскохозяйственных культур и набора паров на выбранной территории [2].

В данной работе представлено использование метода дискретной оптимизации севооборота с выносом гумуса, основанного на элементах динамического программирования, заключающегося в разбиении общей задачи на подзадачи, в процессе распараллеливания процесса поиска оптимального решения [3-6]. Метод, предложенный в работе, основанный на комбинации элементов дискретной оптимизации, является приемлемым для поиска оптимального решения в задаче севооборота, так как его основой является динамический подход поиска оптимального решения при дискретном наборе параметров и переменных.

Обычно в комбинаторной оптимизации используются как стандартные математические методы (разложение в ряды, аппроксимация кривых данных) [7], так и наиболее актуальные методы из области создания искусственного интеллекта или нейронных сетей, или генетические алгоритмы [6]. Однако алгоритм комбинаторной оптимизации, в виде метода ветвей и границ, применяемый в ходе решении NP-задач, позволит при оптимизации севооборота уменьшить размерность допустимых решений, но новейшей методикой представления данного алгоритма является применение нейронных сетей или искусственного интеллекта. Представленный алгоритм позволит получить необходимый заказ на производство для получения требуемого количества культур при внутреннем использовании в хозяйстве, а также с учетом продажи за пределы хозяйства [8].

Кроме того, особенностью представленной модели, является то, что данный метод оптимизации позволит учесть наличие вторичных параметров севооборота, так как является универсальным методом при поиске оптимального решения в случае набора большого количества дополнительных параметров в силу дискретной постановки для принятия оптимального решения в случае оптимизации севооборота.

Основная часть

Рассмотрим набор входных параметров. Обязательным параметром, входящим в построенную систему, является фиксированное значение массы выбранных сельскохозяйственных культур, данное количество должно быть определено в начале года, перед посевной и является константой. Дополнительными параметрами являются количество поставляемых кормов с их характеристиками.

Если присутствуют статистические данные по средней урожайности культуры в хозяйстве, в зависимости от внесенных удобрений, при учете нормативных данных о выносе гумуса культурами и наборе микроэлементов, а также количества удобрений для компенсации их, необходимо построить математическую модель, которая позволит достичь заданной урожайности.

Статистические данные могут быть приняты при рассмотрении таблицы предшественников, где каждое поле имеет историю высевания культур на про-

тяжении некоторого периода, при описании рекомендованных соотношений посева. Однако следует учесть, что некоторые поля могут не участвовать в севообороте из-за его ухода на передержку на одно лето. В сельском хозяйстве данный термин именуется как пар. Вместе с тем, при решении подобной задачи, необходимо учесть влияние предшественников посева на будущую урожайность [9, 10]. Однако при построении заданной модели оптимизации урожайности необходимо учесть данные об агрохимических параметрах полей, таких, как, например, толщина слоя земли, гумус, основные микроэлементы, площадь, кислотность, доза извести [11]. Статистика по возможному проведению различных агрохимических мероприятий, которые позволят повысить качество поля, например, внесение извести, мульчирование и подобные процессы, отразятся на общих расчетах и могут позволить достигнуть оптимальной урожайности к поставленному сроку [11 – 13]. В построенную оптимизационную модель должны войти также и затраты на выполнение подобных мероприятий, например, закупка реагентов, что является параметром системы, которая вычисляется по массиву данных по расходам на обработку, а также транспортные затраты [11].

Оптимизационная модель может также включать параметры, характеризующие данные по оптимальным агрохимическим показателям для каждой культуры, которые показывают, что необходимо для лучшего роста сельскохозяйственной культуры [14]. Однако завершённый способ оптимизации севооборота должен учитывать и пространственную оптимизацию, как, например, расстояние от места размещения техники до каждого элемента поля севооборота, удельные затраты на движение и обслуживание, а кроме того, и обработку поля [15]. Данный вопрос представляет собой элемент экономической оптимизации, например решение транспортной задачи или задачи о коммивояжере [16].

Построенная в настоящей работе дискретная модель оптимизации позволит, благодаря учету временной динамики, принять во внимание процессы обработки и хранения урожая, и использовать данные по времени посадки и результаты обработки посаженных культур, а также имеющееся количество автотранспортного парка с характеристиками возможностей обработки полей, чтобы не допустить перегрузку автотранспортного парка больше, чем 95 – 100 %.

В представленной модели, основанной на методах дискретного программирования, целью является определение доходности севооборота в обозначенный период в T лет, при циклически повторяющейся последовательности из определенных заказчиком культур в количестве N, при учете следующих параметров дискретной модели: урожайность выбранной культуры за определенный период (U_i), баланс гумуса (G_i), затраты на выращивание и уборку площадей (Y_i), приблизительная цена на единицу выращенной культуры (C_i), а также стоимость внесения гумуса в почву (V_h).

Основываясь на «теории предшественников» проведем поиск оптимальной доходности T-летнего севооборота из N выбранных культур [11].

Доходность полученного севооборота можно записать в следующем виде:

$$E = D + P * Y,$$

где D – суммарный доход хозяйства от реализации продукции, как внутри хозяйства, так и за ее пределами, руб.;

Y – суммарные производственные затраты на получение всей продукции, руб.;

P – коэффициент, учитывающий изменение экономической ситуации на протяжении расчетного периода.

Для коэффициента P справедливо следующее соотношение: $1 < P < \infty$.

В данной математической модели применяется троичная логика [8] при построении булевой матрицы севооборота – $A_{ij}, i=1..N, j=1..T$. Матрица описывает следующий процесс: если посевная культура с номером i не будет высеяна в год с номером j , тогда $A_{ij} = -1$. В случае, если культура с номером i засеивается в год с номером j , тогда $A_{ij} = 1$. Нулевые элементы данной матрицы описывают состояние «Stato Neutrale», т.е. состояние, когда информация о процессе не полная или не получена. Это необходимо для повышения точности полученных результатов или более аккуратной оценки доходности при включении дополнительных параметров, кроме того, применение троичной логики может существенно повысить скорость численных вычислений при большом наборе дополнительных параметров. Однако следует учитывать, что сумма элементов данной матрицы должна быть равна 1, т.е. должно выполняться условие .

$\sum_{i=1}^N A_{ij} = 1, j = 1..T$ Данное выражение определяет условие на то, что в год высевается только выбранная культура.

Функция доходности севооборота при заданных условиях с учетом таких параметров, как урожайность выбранной культуры за определенный период, затраты на выращивание и уборку площадей (Y_i), приблизительная цена на единицу выращенной культуры (C_i) примет следующий вид:

$$E(A) = \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N [U_i C_i - P Y_i] A_{ij}, \quad (1)$$

где U_i определяет урожайность культуры в выбранной размерности, ц/га;

C_i – совокупная цена реализации, руб.;

Y_i определяют затраты на производство, руб.

Однако в случае необходимости учета дискретного параметра на поддержание неотрицательного баланса использования гумуса при севообороте, следует учесть в формуле (1) дополнительное отрицательное слагаемое, определяемое из совокупного баланса гумуса по севообороту $A_{ij}, j = 1..T, i = 1..N$:

$$\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N b_i A_{ij}, \quad (2)$$

тогда с учетом стоимости внесения 1-го объема гумуса при посеве – V_h , перепишем формулу (1) в следующем виде:

$$E(A) = \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N [U_i C_i - P Y_i] A_{ij} - PV_h \min[0; \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N G_i A_{ij}], \quad (3)$$

где $G_i = 1..N$ – совокупный баланс гумуса.

Причем, слагаемое $PV_h \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N G_i A_{ij}$ может принимать как положительные, так и отрицательные значения. При положительном значении данного слагаемого, внесение гумуса не требуется, а соответствующие затраты отсутствуют. Если же данное выражение принимает отрицательное значение, то выражение $\sum_{i=1}^N A_{ij} = 1, j = 1..T$, и минимум будет равен $\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N G_i A_{ij}$.

При учете теории «предшественников» при высеивке, наложим на модель ряд ограничений. Отметим, что для ускорения скорости обработки данных, также как и в описании матрицы севооборота, будем использовать взамен стандартной булевой алгебры, алгебру троичной логики. Таким образом, определим матрицу размерности N , такую, что

$$K_{ij} = \begin{cases} -1, \text{при условии}^*; \\ 0, \text{при условии}^{**}; \\ 1, \text{при условии}^{***}, \end{cases} \quad (4)$$

где условие $*$ обозначает информацию о том, что если посевная культура i не может следовать после пара за культурой j ; условие $**$ – представляет ситуацию об отсутствии информации о синхронизации следования культур, условие $***$ определяет, что культура i может следовать после пара за культурой j при посеве на следующий год.

В случае условия $*$ для матрицы A , выполняются следующие условия:

$$A_{i,k} + A_{j,k-1} = 1 - A_{j,k-1} \quad (5)$$

$$A_{i,1} = 1 - A_{i,T}, \quad (6)$$

где $k = 2..T$

Следующие ограничения введем на максимальное количество лет, в течение которых позволителен непрерывный засев одной и той же культуры, вектор V размерности N и возможную максимальную частоту, с которой культура может быть засеяна, вектор W размерности N . В случае, если $V_i > 1$ – культура не может быть засеяна более чем периодически V_i раз. Если же $W_i > 1$, тогда посев возможно произвести только через период в W_i лет, $i = 1..n$. Тогда для матрицы севооборота будут справедливы следующие соотношения:

$$A_{i,k} = 1 - A_{i,x}, k = 1..T, \text{при } V_i > 1, i = 1..N, \quad (7)$$

где x – целая часть выражения $1 - \frac{V_i - k + 1}{T}$

$$A_{i,k} = 1 - A_{i,z}, k = 1..T, \text{при } W_i > 1, i = 1..N, \quad (8)$$

где z – целая часть выражения $1 - \frac{W_i - k}{T}$.

Рассматривая дискретную модель оптимизации севооборота (3) при ограничениях (4) – (8), очевидно, что задача поиска оптимально доходного процесса данного производства сводится к поиску максимума нелинейной, дискретно заданной целевой функции (3) при дискретных ограничениях, согласно построенной модели (4) – (8) [7].

Решение данной задачи может быть реализовано методом ветвей и границ, который, по существу, является вариацией полного перебора с отсеком подмножеств допустимых решений, заведомо не содержащих оптимальных решений.

Данная математическая модель имеет конкретное практическое применение в качестве программного модуля программы «Поддержка принятия решений по оптимизации структуры сырьевого конвейера для обеспечения хозяйств кормами». В настоящее время программа используется в деятельности хозяйств Минской области. Использование математической модели в программе позволяет произвести расчет оптимальной структуры севооборота исходя из имеющихся в хозяйстве сельскохозяйственных земель и имеющихся ограничений на продукцию растениеводства. Модуль расчета структуры севооборота использует такие данные, как история предшественников для полей севооборота, динамика урожайности сельскохозяйственных культур на протяжении некоторого времени, агрохимические параметры полей, годовая потребность хозяйства в кормах и структура имеющейся в хозяйстве техники и навесного оборудования.

Программный модуль позволяет получить пространственную структуру севооборота хозяйства по отдельным полям с указанием культур и их прогнозными значениями будущей урожайности. Это позволяет произвести расчет планируемого объема растениеводческой продукции, необходимого количества удобрений и отклонение от имеющихся потребностей хозяйства. Используемая математическая модель позволяет нивелировать отсутствие достаточного количества исходных данных в вопросе формирования оптимальной структуры севооборота сельскохозяйственных культур.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования по наработке статистических данных для определения влияния различных сельскохозяйственных культур на устойчивость данной модели в вопросе получения оптимального результата.

Заключение

В представленной работе предложен метод критерияльной задачи оптимизации севооборота. Модель основана на дискретном методе оптимизации, что влечет распараллеливание задачи оптимизации при планировании производительности, а значит, поможет существенно повысить скорость обработки данных. Кроме того, при построении модели используются элементы троичной логики, что дает возможность повысить ско-

рость компьютерных вычислений при использовании описанного в настоящей работе алгоритма.

Данный подход актуален при наборе значительного количества параметров, которые включены в построенную в работе модель. Представленный подход позволяет решить задачу современного сельскохозяйственного производства при усовершенствовании структуры посевных площадей и создании общих методик севооборотов для успешного планирования сельского хозяйства.

Главной особенностью построенной модели является то, что при оптимизации севооборота можно уменьшить размерность допустимых решений и в будущем расширить данный алгоритм при применении нейронных сетей или искусственного интеллекта, который может быть использован в целях оптимизации в вопросах планирования производства, а также представляет собой метод дискретного или динамического решения NP-задачи оптимизации севооборота [8].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2016. – Режим доступа: http://www.gki.gov.by/docs/sbornik_2016.doc. – Дата доступа: 31.10.2016.
2. Барановская, В.А. Оптимизация гумусового состояния почв / В.А. Барановская // Почвенно-экологические проблемы в степном земледелии. – Пушино, 1992. – С. 79-87.
3. Box, G. E. P., & Wilson, K. B. (1951). Experimental attainment of optimum conditions // Journal of the Royal Statistical Society, v. 13. – P. 1–45.
4. Box, G. E. P., Hunter, W. G., & Hunter, S. J. (1978). Statistics for experimenters. – New York a.o: Wiley, 1978. – 653 pp.
5. Douglas W. Jones // [Standard Ternary Logic](#), Feb. 11, 2013. – 121 pp.
6. Fisher, R. A. (1925). Statistical methods for research workers. Edinburgh: Oliver and Boyd. – 269 pp.
7. Marco Cavazzuti, Optimization Methods: From Theory to Design Scientific and Technological Aspects in Mechanics, Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 2013. – 262 pp.
8. A. H. Land and A. G. Doig. An automatic method of solving discrete programming problems. Econometrica, vol. 28 (1960). – P. 497-520.
9. Болотов, А.Т. Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству, ботанике / А.Т. Болотов. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 524 с.
10. Бондарев, А.Г. Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв / А.Г. Бондарев, В.В. Медведев // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров и свойств почв. – М: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 1980. – С. 85-98.

11. Дорохин, И.Н. Продуктивность севооборотов в зависимости от интенсивности технологий / И.Н. Дорохин // Земледелие, 2008. – №6. – С. 32-34.

12. Булаткин, Г.А. Энергетические основы моделей расширенного воспроизводства плодородия почв / Г.А. Булаткин // Вестник с.-х. науки, 1989. – № 7. – С. 88-93.

13. Гончар-Зайкин, П.П. Метод номографического расчета гумусового баланса почв в севооборотах / П.П. Гончар-Зайкин, О.С. Журавлев // Плодородие почв и пути его повышения. – М.: Колос, 1983. – С. 154-157.

14. Егорова, Г.С. Поддержание положительного баланса гумуса почвы при интенсивной системе земледелия / Г.С. Егорова, А.А. Околелова // Научный вестник: сер. Агрономия. – Вып.4. – Волгоград: ВГСХА, 2004. – С. 97-100.

15. Постников, П.А. Севооборот – основа сохранения плодородия / П.А. Постников // Земледелие, 2002. – №6. – С. 16.

16. Светлов, Н.М. Применение метода динамического программирования для оптимизации севооборотов / Н.М. Светлов. – М.: МСХА. – 1996. – С. 18.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.07.2016

УДК 636.2.034:004

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТОКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СТАДОМ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

И.И. Гируцкий,

зав. каф. автоматизированных систем управления производством БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

А.Б. Грищенко,

аспирант каф. автоматизированных систем управления производством БГАТУ

Рассмотрены основные характеристики для описания молочно-товарных ферм, основные компоненты систем управления стадом и направления их совершенствования, предполагающие поэтапное внедрение новых информационных технологий управления – от создания локальных автоматизированных систем управления к синтезу комплексных и интегрированных информационно-управляющих систем. Приведены результаты оценки объема информации, передаваемой в процессе работы системы управления стадом между ее компонентами.

Ключевые слова: автоматизация, корова, система управления стадом.

The main characteristics for analyzing milk farms, main components of the herd management systems enhancements and step-by-step implementations of new information technologies, from creation of local automated control systems to synthesis of the complex and integrated management information systems are considered. The results of assessment of the amount of information transmitted in the herd management system between its components are given.

Keywords: automation, cow, herd management system.

Введение

В Республике Беларусь построено и реконструировано более 1200 молочно-товарных ферм с компьютеризованными системами управления стадом, многие хозяйства приобрели доильные роботы. Современные молочно-товарные комплексы делают ставку на производство сырья экстра-класса, но в то же время наблюдаются случаи неэффективного использования инновационного оборудования [1]. В настоящее время актуальной задачей является достижение проектных показателей и эффективное использование сложного оборудования, для чего необходимо изучение его возможностей и подготовка квалифицированных кадров для эксплуатации и обслуживания [2]. Для достижения максимального эффекта молочно-товарного производства, доильное оборудование должно подстраиваться под каждую корову. Эта задача может быть выполнена только на базе

применения информационных управляющих систем (ИУС), когда управление всей фермой осуществляется на базе непрерывного сбора, анализа и хранения большого количества индивидуальных данных о животных [3]. Целью данной работы является изучение состава и объема информации в системе управления стадом крупного рогатого скота.

Основная часть

Современные молочно-товарные комплексы основаны на поточно-цеховой системе производства молока и воспроизводства стада. Для анализа работы подобных комплексов необходим сбор большого перечня информации:

– мощность фермы (количество голов скота), наличие дополнительных сооружений (кормоцех, склады, сенажные башни, силосные или сенажные траншеи, корнеклубнехранилище);