

6. Стадник А.Т. Организационно-экономические основы формирования стабильного агропромышленного производства / А.Т. Стадник, А.А. Самохвалова, Д.В. Эссауленко // АПК: экономика, управление. – 2020. – № 11. – С. 33-44.

7. Стадник А.Т. Сдерживающие факторы инновационного развития АПК региона и стратегия его регулирования / А.Т. Стадник, С.Г. Чернова, Е.Д. Тен // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2013. – № 1(26). – С. 146-151.

8. Статистический ежегодник Республика Саха (Якутия): стат. сборник. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). – Я., 2022. - 542 с.

УДК 338.33

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

О.Л. Сапун, канд. пед. наук, доцент

Е.М. Исаченко, старший преподаватель

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

**Аннотация.** В настоящее время практически отсутствуют способы определения рациональных параметров сельскохозяйственного воспроизводства, использование которых помогло бы оценить степень влияния на него различных экономических факторов. Наиболее успешно решить данную задачу можно с помощью использования методов математического моделирования, позволяющих проигрывать различные ситуации и при этом избежать принципиальных ошибок. С этой целью была разработана имитационная модель прогнозирования воспроизводственного процесса, позволяющая оценить перспективное изменение его параметров под действием различных экономических факторов: затрат на производство продукции, выручки от ее реализации. Модель имеет универсальный характер и позволяет строить различные сценарии развития воспроизводственного процесса, как для отдельных предприятий, так и для их групп с определенным видом воспроизводства. Моделирование производства продукции в растениеводстве и животноводстве являются важными задачами агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** моделирование, имитационная модель, математические методы, временные интервалы.

Итоги статистического анализа показателей хозяйственной деятельности сельхозпредприятий используются во многих ее отраслях. Для проведения такого анализа используются различные эконометрические методы, модели имитационного моделирования и пакеты прикладных программ.

В статье «Статистический анализ урожайности в Республике Беларусь методом главных компонент» анализ урожайности зерновых проводился методом главных компонент. Полученный в статье прогноз на 2020 год оказался близким к реальному показателю [1]. В работе «Статистический анализ зерновых в Республике Беларусь методом частных наименьших квадратов» использовался PLS-метод частных наименьших квадратов для проведения статистического анализа динамики и прогноза урожайности зерновых в Республике Беларусь. Полученные результаты позволяют принимать управленческие решения с учетом наиболее значимых показателей, выделенных использованным методом PLS [2]. В работе «Имитационное моделирование производства видов сельскохозяйственной продукции» рассматриваются вопросы моделирования процесса выращивания

сельскохозяйственной продукции, средства планирования экспериментов и анализ результатов [3].

Целью данной работы является создание модели имитации производства сельскохозяйственной продукции, включающей: моделирование процесса выращивания сельскохозяйственной культуры; экономические процессы сопровождения сельскохозяйственного производства; систему управления сценарными условиями, включающую региональные погодные условия и цены на рынках; средства планирования проведения модельных экспериментов и обработки результатов расчетов.

Модель предназначена для проведения имитационных экспериментов с целью нахождения наилучшей тактики и стратегии ведения бизнеса в среднесрочной перспективе на период в несколько лет.

Составление прогнозов развития производства сельскохозяйственной продукции ставит перед собой актуальную задачу. Сейчас не существует общепризнанных методов, которые позволяли бы спрогнозировать производство сельскохозяйственной продукции на перспективу. Также экономический аспект играет очень важную роль, так как укрепления экономической независимости участников производства на всех уровнях выражает вероятностный образ экономических процессов.

Любая модель содержит некоторую комбинацию, состоящую из переменных, параметров, компонент, функциональных зависимостей, ограничений, целевых функций. При описании моделируемой системы и процессов, определяются основные параметры и переменные модели.

С помощью языка или аппарата математических методов, в том числе и имитационных технологий, осуществляется формализация построенной концептуальной модели. Один из подходов аналитического или имитационного моделирования выбирается в зависимости от цели моделирования и сложности объекта. Разработка математического описания объекта моделирования проводится в рамках выбранного подхода. Результатом данного этапа будет разработка технического проекта компьютерной установки.

Процесс формализации сложной системы включает в себя следующие виды работ: выбор способа формализации; составление формального описания системы.

В процессе построения модели можно выделить 3 уровня ее представления: неформализованный – концептуальная модель; формализованный – формальная модель; программный – имитационная модель.

Каждый последующий уровень отличается от предыдущего степенью детализации моделируемой системы и способами описания ее структуры и процесса функционирования. При этом уровень абстрагирования возрастает. Систематизированное содержательное описание моделируемой системы (или проблемной ситуации) на неформальном языке, называется концептуальной моделью. Осуществление на основе той методологии имитационного моделирования, которая подходит к данной системе происходит формализация объекта исследования. Имеется большое количество схем формализации и структуризации, которые применяются в имитационном моделировании. Такие таблицы формализации исходят из различных понятий об изучаемых процессах и ориентируются на разные математические теории. Отсюда множество схем формализации и трудности отбора подходящей для описаний данного предмета моделирования.

Для решения этой проблемы используем систему, включающую комплексную математическую модель экономического сопровождения производства сельскохозяйственной продукции, компьютерную модель ее реализации, базу данных информационного природно-климатического и экономического сопровождения, обширный графический интерфейс представления результатов численных экспериментов, аналитический модуль оптимизации результатов расчетов, модуль планирования численных экспериментов, удобный, интуитивно понятный интерфейс пользователя.

В основе такого подхода лежит метод имитационного моделирования. Имитационное моделирование – процесс построения модели сложной системы и проведения серий экспериментов с этой моделью, направленных либо на понимание специфики функционирования системы, либо на выработку стратегии управления, удовлетворяющей выбранным критериям.

Поскольку проведение экспериментов на реальных системах – дорогостоящее занятие, занимающее продолжительный отрезок времени, имитационное моделирование – это эффективный способ исследования и управления сложными объектами реального мира, поведение которого невозможно предсказать с необходимой степенью детальности на основе учета обозримого набора ключевых параметров.

Применение имитационного моделирования финансовой деятельности производства сельскохозяйственной продукции предоставляет экспериментатору ряд преимуществ: позволяет учесть риски, связанные с климатическими условиями и рыночной неустойчивостью; возможность анализировать различные сценарии деятельности; позволяет рассмотреть и оценить самые разные результаты моделирования.

Этапы разработки модели производства сельскохозяйственной продукции предполагают деление входной информации на следующие группы [3]:

- производственные расходы (трудовые, на образование страхового фонда, на корма, на материальные затраты в расчете на единицу произведенной сельскохозяйственной продукции);

- результаты переменных (данные урожайности сельскохозяйственных культур);

- земельные ресурсы, объемы в соответствии с производством, использованием и реализацией сельскохозяйственной продукции.

Степень развития производственных, п-ресурсного потенциалов для каждой сельскохозяйственной организации определяется совокупностью переменных. Единицами измерения переменных в модели являются не только натуральные показатели (гектары, центнеры), но и стоимостные показатели.

Также при построении модели учитывается, что функционирующие в административных границах сельскохозяйственные организации имеют заданные почвенно-климатические условия и, соответственно, для них должны быть определены равные экономические обстоятельства. Также нужно обратить внимание на то, что построение для отдельной сельскохозяйственной организации моделей производства присуще альтернативность развития при одинаковом начальном объеме вовлеченных ресурсов.

Разработанная модель оптимизации позволяет свести до возможного минимума недостаток ресурсов, имеющийся в сельскохозяйственных организациях, главным образом за счет рационального использования трудовых, земельных, финансовых, технических и других п-ресурсов и удобрений.

Также в итоге получаемая модель позволяет обнаружить наиболее оптимальные величины производства различных видов сельскохозяйственной продукции и их комбинацию между собой.

Тактовое время модели  $\tau$  – одна декада. Общая длительность имитационного эксперимента 10 лет  $T = 360\tau$ .

Год разбивается на два временных интервала. Первый интервал – осень, зима, ранняя весна. В течение этого интервала может происходить хозяйственная деятельность, а именно: строительство складов, цехов по переработке продукции, закупка удобрений, семян и т.п., а также продажа урожая (первичной продукции), продукции переработки, получение кредитов и возврат их с процентами. Второй интервал – поздняя весна, лето и ранняя осень. В течение этого интервала помимо деятельности, которая происходит в первом интервале, происходит выращивание и сбор урожая, проведение агротехнических мероприятий. Длительность первого интервала 8 месяцев  $24\tau$  декад, а второго  $12\tau$  декад.

Будут описываться три блока процесса производства сельскохозяйственной продукции.

Финансовый блок можно описать формулой 1:

$$K(t+\tau)=K(t)+(In(t)-Out(t))\cdot\tau, \quad (1)$$

где  $K(t)$  – деньги на счету в момент времени  $t$ ;  $In(t)$  – поступления на счет;  $Out(t)$  – списание со счета за интервал времени  $[t, t + \tau]$ .

Модельный интервал  $\tau = 1$ .

Поступления на счет  $In(t)$  включают в себя:

$$In(t)=\mu(t)\cdot p_{\mu}(t)+\sigma(t)\cdot p_{\sigma}(t)+k(t), \quad (2)$$

где  $\mu(t)p_{\mu}(t)$  – продажа урожая ( $\mu(t)$  – количество проданного за текущий интервал времени, а  $p_{\mu}(t)$  – текущая цена);  $\sigma(t)\cdot p_{\sigma}(t)$  – продажа переработанной продукции ( $\sigma(t)$  – количество проданного за текущий интервал времени, а  $p_{\sigma}(t)$  – текущая цена);  $k(t)$  – заемные и другие средства, например субсидии средства от продажи акций.

Списание со счета  $Out(t)$  включают в себя (формула 3):

$$Out(t) = a(t) \cdot p_a(t) + b(t) \cdot p_b(t) + (\vec{\alpha} \cdot \overrightarrow{p_{\alpha}(t)}) + d(t), \quad (3)$$

где  $a(t)p_a(t)$  – затраты на хранение урожая, где  $a(t)$  – количество хранимого урожая,  $p_a(t)$  – стоимость хранения;  $b(t)p_b(t)$  – затраты на хранение переработанной продукции, где  $b(t)$  – количество переработанной продукции,  $p_b(t)$  – стоимость хранения;  $\vec{\alpha} \cdot \overrightarrow{p_{\alpha}(t)}$  – затраты на текущие агрохимические управления, где  $\vec{\alpha}$  – это вектор, компонентами которого являются количества купленных удобрений, средств защиты растений, семян, а  $\overrightarrow{p_{\alpha}(t)}$  – стоимости единицы удобрений, семян и т.п. с учетом издержек хранения;  $d(t)$  – текущие выплаты по кредитам.

Возможно, надо также учесть управление собственными финансовыми средствами – депозиты, покупка финансовых инструментов (валюта, ценные бумаги).

Производственные балансы (производственная деятельность) определяется исходя из формулы 4:

$$a(t+\tau)=a(t)+(m(t)-\mu(t)-la(t)-\delta(t))\cdot\tau, \quad (4)$$

где  $a(t)$  – количество первичной продукции;  $m(t)$  – собранный за период урожай;  $\mu(t)$  – проданный за период урожай;  $la(t)$  – текущие потери урожая;  $\delta(t)$  – количество первичной продукции, отправленное на переработку.

Причем количество первичной продукции, отправленное на переработку рассчитаем по формуле 5:

$$b(t+\tau)=b(t)+(F(\delta t)-lb(t))\cdot\tau, \quad (5)$$

где  $b(t)$  – количество переработанной продукции;  $lb(t)$  – потери переработанной продукции;  $F(\delta t)$  – производственная функция переработки первичной продукции, которая зависит от потока первичной продукции  $\delta t$ , а также от имеющихся мощностей.

Основным процессом, описываемым блоке «Сельскохозяйственное производство», является производственный процесс. Продукция сельскохозяйственной культуры зависит от большого количества факторов – погоды, агрохимии, плодородия почвы и т.п.

Существуют различные модельные подходы для описания производственного процесса с учетом различной степени детализации. Обычно записывается система дифференциальных уравнений, одной из фазовых переменных является количество сухого вещества, которое можно интерпретировать как урожай. Авторы считают, что на первоначальном этапе можно отказаться от динамического описания, а использовать параметрическое описание производственного процесса.

На наш взгляд, считаем целесообразным предположить следующее уравнение роста сухого вещества (биомассы) (формула 6):

$$\frac{dm}{dt} = \gamma \cdot m \cdot \left(1 - \frac{m}{B}\right) \cdot e^{-D \cdot t} \quad (6)$$

Это уравнение (уравнение Чантера) является модифицированным уравнением Ферхюльста, где  $\gamma$  – скорость роста;  $B$  – экологическая емкость среды (плодородие почвы), а член  $e^{-D \cdot t}$  интерпретируется как старение. Это уравнение может быть проинтегрировано. Решение имеет вид (формула 7):

$$m_t = \frac{m_0 \cdot B}{m_0 + (B - m_0) \cdot \exp\left(-\frac{\gamma}{D}\right)}, \quad (7)$$

где  $m_0$  – начальное значение, которое можно считать количеством внесенных семян. Предельное значение, как легко видеть, при  $t \rightarrow \infty$  равно:

$$m_t = \frac{m_0 \cdot B}{m_0 + (B - m_0) \cdot \exp\left(-\frac{\gamma}{D}\right)}.$$

Таким образом, рассматриваем следующие агрохимические управления:

- 1) внесение удобрений ( $x$ );
- 2) борьба с вредителями ( $y$ ).

Можно считать, что эти воздействия являются компонентами вектора  $\vec{\alpha}$ . Первое воздействие изменяет  $B$ , а второе влияет на значение  $\gamma$ . При этом изменение значений происходит не мгновенно, а с задержками.

Погодные условия ( $U$ ), температура ( $T$ ) и осадки ( $W$ ) задаются сценарно по декадам и также изменяют значения  $B$  и  $\gamma$ .

Компоненты сценарного блока уже затрагивались в сельскохозяйственном и финансовом блоках. Речь идет о процентной ставке кредита и ставке депозита, цены на изготавливаемую нами продукцию, погодные условия.

В первом приближении предполагается, что биомасса культуры полностью реализуется. Период выращивания культуры: май – сентябрь.

Все цены, погодные условия, ставки процента задаются в виде массивов чисел, возможно со случайными аддитивными добавками.

Погодные условия обобщенно отражает коэффициент продуктивности за весь период вегетации.

Что касается процентных ставок, то они определяются состоянием рынка, и в модели будут рассмотрены их возможные варианты.

Также применение результатов моделирования поможет проанализировать и выявить наиболее приоритетные перспективы сельскохозяйственной деятельности, на которых нужно делать акцент с учетом имеющихся климатических условий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белько И.В. 2021. Статистический анализ урожайности в Республике Беларусь методом главных компонент // И.В. Белько, Е.А. Криштапович, О.Л. Сапун / Экономика, моделирование, прогнозирование: Сборник научных трудов. Минск: НИЭИ Минэкономики Республики Беларусь. Выпуск 15. – 2021. – С. 270-276.

2. Белько И.В. Статистический анализ зерновых в Республике Беларусь методом частных наименьших квадратов // И.В. Белько, Е.А. Криштапович, О.Л. Сапун / Экономика, моделирование, прогнозирование: Сборник научных трудов. Минск: НИЭИ Минэкономики Республики Беларусь. Выпуск 16. – 2022. – С. 256-261.

З. Арванова С.М. Имитационное моделирование производства видов сельскохозяйственной продукции // С.М. Арванова, Л.А. Мешева, А.С. Ксенофонтов, И.Я. Шаваев / Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 4-2. – С. 221-224.

УДК 63:004.77

## УМНОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

О.Л. Сапун, канд. пед. наук, доцент

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

**Аннотация.** В статье рассматривается сельское хозяйство в условиях новых прорывных цифровых технологий: таких как Интернет вещей, большие данные и аналитика, системная интеграция, облачные вычисления, моделирование, автономные роботизированные системы, дополненная реальность, искусственный интеллект, беспроводные сенсорные сети и др. Интеграция этих технологий в сельское хозяйство дает начало умному сельскому хозяйству или цифровому сельскому хозяйству, описанному в данной работе.

**Ключевые слова:** интернет вещей, системная интеграция, облачные вычисления, моделирование, автономные роботизированные системы, дополненная реальность, искусственный интеллект, беспроводные сенсорные сети.

Индустрия 4.0, также известная как четвертая промышленная революция, меняет каждую отрасль в том числе и сельское хозяйство. Индустрия 4.0, характеризующаяся слиянием новых прорывных цифровых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), большие данные и аналитика (BDA), системная интеграция (SI), облачные вычисления (CC), моделирование, автономные роботизированные системы (ARS), дополненная реальность (AR), искусственный интеллект (AI), беспроводные сенсорные сети (WSN), киберфизическая система (CPS), цифровой двойник (DT) и аддитивное производство (AM). Интеграция этих технологий в сельское хозяйство дает начало промышленному сельскому хозяйству следующего поколения, а именно сельскому хозяйству 4.0, также называемому «умное сельское хозяйство» или цифровое сельское хозяйство [1].

Умное сельское хозяйство предоставляет разнообразный набор инструментов для решения ряда проблем сельскохозяйственного производства продуктов питания, связанных с производительностью, воздействием на окружающую среду, продовольственной безопасностью, потерями урожая и устойчивостью. Например, с помощью систем с поддержкой IoT, производители могут удаленно подключаться к фермам независимо от места и времени для мониторинга и контроля операций. Дроны, оснащенные гиперспектральными камерами, могут использоваться для сбора данных из разнородных источников на сельскохозяйственных угодьях, а автономные роботы могут использоваться для поддержки или выполнения повторяющихся задач на фермах.

Методы анализа данных могут использоваться для анализа собранных данных с помощью компьютерных приложений, которые могут помочь фермерам в процессе принятия решений. Аналогичным образом, широкий спектр параметров, связанных с факторами окружающей среды, борьбой с сорняками, состоянием урожая, управлением водными ресурсами, состоянием почвы, планирование орошения, гербициды и пестициды, а также сельское хозяйство с контролируемой средой можно отслеживать и анализировать в интеллектуальном сельском хозяйстве для повышения урожайности, минимизации затрат, повышения качества продукции и поддержания производственных затрат за счет использования современных систем.