

УДК 63: 631. 371: 530.1

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

А.М. Башилов, И.И. Свеницкий, доктора технических наук

В.А. Королев, кандидат технических наук

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства

Рассматриваются вопросы создания оценочных и прогнозных эксэргетических моделей агропроизводства, а также использования этих моделей для управления агропроцессами.

Эволюция, энергия, информация, эксэргия, аграрное производство, растение, математическая модель.

Создание машинных технологий производства сельскохозяйственной продукции на основе систем «точного» земледелия и животноводства признано генеральным направлением агроинженерных исследований в 21 веке [1]. Управление высокоэффективными агротехнологиями должно быть энерго-, ресурсоэкономным экологосовместимым и обеспечивать минимизации негативных воздействий технологий на природу и на используемые ими ресурсы.

По современным представлениям эволюционистов и исследователей смежных отраслей знаний все этапы прогрессивной эволюции (физико-химический, биологический, социальный) имеют общую энергоэкономную направленность. Системные исследования, проведенные с использованием закона выживания, принципа энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции, выявили идеальную общую направленность прогрессивной эволюции природы. Развитие (индивидуальное, эволюционное) систем самоорганизующейся природы имеет самопроизвольную направленность к повышению энергетической эффективности (энергоэкономности) процессов и структур, снижению их вещественной емкости, экономному использованию информации. По мере усложнения структур и процессов развивающейся системы ее эволюционный процесс ускоряется.

Цель исследований – изложить аспекты нового подхода к вопросам создания высокоэффективных агротехнологий, управления ими и природопользованием с учетом идеальных свойств прогрессивной эволюции.

Методика и материалы исследований. Прогнозирование продуктивности растений, оценка влияния погодноклиматических и почвенных условий на урожайность сельхозкультур на основе моделирования и эксэргетического анализа агропроцессов – перспективное научное направление развития и повышений эффективности агротехнологий. В ходе развития этого направления предусматривается создание агротехноценозов (АТЦ) – систем, объединяющих природные и техногенные компоненты,

часть из которых (посевы, насаждения, почвенно-климатические факторы) рассматриваются как самоорганизующиеся объекты. Агротехноценозы – сложные открытые диссипативные системы, непрерывно изменяющиеся по законам самоорганизации, ограниченные в пространстве и времени, функционирующие в единстве с самоорганизующейся внешней средой – климатическими и почвенными условиями конкретного региона.

Природные объекты АТЦ – часть биоценоза (БЦ), созданные природой как устойчивый неравновесный саморегулирующийся единый объект живых компонент (растения, животные) и неорганических (вода, почва) с изменяющимися климатическими факторами внешней среды. Значения характеристик многомерного пространства параметров технологического процесса согласуются с процессами управления внешними воздействиями с учетом требуемых характеристик производственного процесса аграрного производства. Эти процессы изменяются согласовано с природно-климатическими условиями и непрерывно формирующимся и протекающим процессам авторегулирования в растениях. В разные периоды развития агроэкологические характеристики растений, их потребности во влаге, удобрениях удовлетворяются за счет подпитки ресурсами или, при их излишках, ОАП деградирует.

Антропогенные составляющие техноценозов (ТЦ) создаёт человек для повышения эффективности АТЦ путем воздействия на организмы технологическими процессами. Структура и процессы в ТЦ определяются видом и предназначением БЦ, функционированием его элементов управления.

Несмотря на общие тенденции создания энергоэффективных ТЦ, во многих из используемых в настоящее время ТЦ имеют место существенные отступления от этих тенденций вследствие недостаточного учета явления самоорганизации в организмах и их сообществах. Анализ методов энергетической и информационной поддержки процессов функционирования и управления АТЦ позволяет выявить нерешенные проблемы моделирования и использования систем техногенной составляющей автоматизации по согласованию с процессами в самоорганизующихся системах агропроизводства. Для этого необходимо:

- в рамках стратегии информационного, аналитического и технического обеспечения технологических процессов возделывания растений формировать целостную методологическую концепцию построения модели адаптивного агропроизводства на основе эксергетического анализа биоконверсии энергии организмами;

- существующий комплекс энергетического, информационного, аналитического и в целом технического обеспечения процессов агропроизводства и управления должен быть целиком ориентирован на поддержку самоорганизующихся процессов объектов БЦ;

- необходимы принципы формализованного описания АТЦ на основе эксергетического анализа, как объекта целевого управления, согласованные с процессами самоорганизации в АТЦ.

К настоящему времени созданы ряд моделей агропроизводства (МА), имеющих свою специфику и структуру под конкретные цели и задачи агропроизводства. Они, в основном, недостаточно устремлены к удовлетворению перечисленных требований. Сформированы несколько научных школ, направленных на повышение уровня эффективности агропроизводства. Подходы к созданию методологических аспектов построения МА, как правило, оценочных, прогнозных, часто, недостаточно учитывают явление самоорганизации – самопроизвольную направленность к экономии энергии. В [2, 3, 4] построение моделей рассматривают на уровне пространственных структур, и делается попытка более полного описания биологической структуры растений практически без учета явлений самоорганизации. В [6, 7] МА основываются на применении автоматных графов. В ряде моделей задействован подход, основанный на замене реального объекта (системы) «черным» ящиком [8, 9], применены градиентные методы прогнозирования. Расширяется использование космических ресурсов наблюдения для мониторинга состояния посевов с последующим использованием этих данных в МА [10, 11]. К сожалению, в рассмотренных МА не учитывается явление самоорганизации организмов и идеальные свойства прогрессивной эволюции, которыми направляется самоорганизация и авторегулирование организмов.

На практике при адаптации разработанных МА (главное условие их применимости к другим условиям – различные регионы, техпроцессы и т.д.) возникают проблемы модификации структуры модели, доработки ее блоков, включения новых блоков, согласования практических целей пользователя, определения нужной агрометеорологической информации и параметров. Процесс решения данных проблем можно существенно упростить на основе энергоинформационного анализа и учета механизмов самоорганизации. Также важен верный выбор точки отсчета – начала исчисления при определении эффективности. Как правило, в традиционных МА последний аспект либо не рассматривается совсем, либо ему не уделяется достаточное внимание.

На наш взгляд перспективно и жизнеспособно представление о том, что закономерности роста и развития растений обладают свойством самоорганизационной направленности: ресурсо-, энерго- и информационно-экономности в существующих экологических условиях [13, 14]. Эта предпосылка во многих случаях позволяет эффективно построить МА на основе принципа подчинения синергетики и количественного взаимно согласованного определения агроэкологических величин в единицах свободной энергии – эксэргии. В этом случае аналитические выражения экологических величин можно использовать для построения основных алгоритмов компьютерных программ оптимального управления процессами формирования продуктивности. Динамическая модель потенциально-эффективного типа, основанная на учете принципа подчинения синергетики и принципа энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции.

При решении задач создания эффективных АТЦ и управления ими

сталкиваются с практическими вопросами, без решения которых решить задачу увеличения продуктивности и снижения энергоемкости сельскохозяйственного производства не реально:

- при производстве продукции растениеводства используется 97 – 98 % энергии солнечного излучения и только до 2 – 3 % техногенной. Первичным преобразователем этой энергии является автотрофные фотосинтезирующие растения. Техногенную энергию, используемую в сельскохозяйственном производстве, целесообразно рассматривать как энергию управления для высокоэффективного преобразования организмами: солнечной энергии (ОИ) - растениями, животными - энергии кормов;

- на работу АТЦ и управление ими существенно влияют внешние факторы. При резких изменениях погодно-климатических условий, сбоях в работе служб, систем коммуникационных и снабжения АТЦ функционирует с ухудшенными показателями, а технологические процессы в них при отсутствии эффективного управления могут стать неустойчивыми;

- рассредоточенные в пространстве элементы АТЦ (самостоятельные сложные динамические системы) функционируют в режиме реального времени в среде не всегда предсказуемых неуправляемых нестационарных стохастических параметров состояния (постоянно протекающие процессы самоорганизации в растениях, случайные и неопределенные изменения условий функционирования, колебания параметров исполнительных рабочих машин и т.д.);

- не всегда четко определены цели управления для групп и отдельных элементов АТЦ, которые имеют разное назначение, структуры и динамические свойства, а требования к их показателям различны (применяются несколько источников ресурсов и энергии и др.).

Аграрно-инженерные и аграрно-экологические знания развиваются на эмпирической основе, используя отдельные положения и теории более общих отраслей знаний. Они, как и общая биология, логически концептуально не включены в общую систему науки. Отечественные и зарубежные ученые пытались найти путь такого включения. Э.С. Бауэр – обоснованием неравновесной устойчивости живых систем. В.И.Вернадский – на основе симметрии природы и ее законов, а также предложением оценить все производительные силы страны одним энергетическим показателем. В.Р. Волобуев – обоснованием начал агроэнергетики; В.П. Горячкин – разработкой земледельческой механики; В.В. Докучаев – обоснованием представления о почве, как о самостоятельном, впоследствии биокостном теле; М.Г. Евреинов – обоснованием развития экологической биоэнергетики; В.А. Ковда – развитием учения о почвах и их энергетике; К.А. Тимирязев – изучением спектра действия фотосинтеза, выявлением космической роли хлорофилла, доказательством непригодности световых величин для оценки действия излучения на растения. Вернадский, Г. Гельмгольц, Тимирязев, Умов и Циолковский – высказываниями о существовании закона, противоположного по своей сущности второму началу термодинамики.

К числу наиболее важных достижений самоорганизации относится выявление принципов подчинения синергетики, а также энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции. Принцип энергетической экстремальности самоорганизации логически концептуально на основе динамической зеркальной симметрии объединяет второе начало термодинамики и противоположный ему по сущности закон, названный законом выживания. Эти принцип и закон позволили обосновать простое решение названных проблем фундаментальной науки. Оно состоит в ограничении приложения второго начала только равновесными (несамоорганизующимися) системами, самоорганизующиеся (неравновесные) системы – отображает закон выживания.

Математическая модель АТЦ при реализации конкретных задач потребителя должна позволять:

- учитывать генерацию на всех этапах вегетации растений множество контрольных параметров технологических процессов; при действии случайных внешних возмущений, разнообразных климатических и почвенных условий и реализуемой стратегии формирования урожая оценивать расход энергетических, сырьевых и материальных ресурсов;

- определять уровень продуктивности и состояние растений, зависимость их от управляемых процессов; обеспечивать максимальное использование природных источников энергии (эксэргии солнечного излучения, водного потенциала и т.д.);

- реализовывать упреждающие управления и прогнозировать последствия; учитывать технологические особенности АТЦ, сравнивать по генетическому потенциалу варианты видов (сортов, культур, гибридов) растений, по скорости фотосинтеза и формированию продуктивности, влиянию на них почвенно-климатических условий, систем реализации агропогенной части агротехнологии.

С повышением интенсификации агропроизводства наблюдается повышение внимания к уточнению роли влияния природных факторов на агропроцессы, максимальному использованию их, а также использованием потенциальных возможностей растений по формированию ими продуктивности в заданных экологических условиях. Эти сведения необходимы для комплексного решения обозначенных проблем. Без них не возможно проектирование более совершенных функциональных систем управления. Такое проектирование более реально в рамках стройной методологической концепции, позволяющей значительно повысить "жизнеспособность" и эффективность АТЦ как в условиях штатных, так и возможных чрезвычайных ситуаций. Это позволяет качественно изменить подход к решению задач повышения процесса формирования продуктивности на протяжении всего цикла возделывания растений.

Новые подходы к решению сложных задач создания новых технологий, технических систем и машин в составе АТЦ базируются на общности законов естествознания, техники и технологий. Они обеспечивают повышение доступности использования, компьютерных информа-

ционных систем. Перспективная методология прикладной науки – создания эффективных АТЦ на основе бионического подхода к теории построения и управления АТЦ (использование принципов структурной организации живых организмов для решения технических задач), которые реализуются природой в живых организмах и обеспечивают высокую обучаемость и приспособляемость их к изменяющимся условиям среды обитания, а также и высокую автономность жизнедеятельности. Примечательно, что задача восприятия сигналов, их обработка в биологических системах решена развитием познания нервной системы, которая обеспечивает интегрированное управление многоклеточным организмом, независимо от его формы и среды обитания. Перспективно также в агротехнологиях использование метода «инженерной аналогии». Метод исследования и управления техническими системами на основе познанных объективных закономерностей развития живых организмов позволит нетривиальным образом описать и формализовать их, получить полезные практические результаты, что является существенным резервом повышения урожайности и производительности труда в растениеводстве, где затраты на техногенную энергию в агротехнологиях достигают 70% от общих материальных затрат на продукцию. Как видно из литературных источников, до настоящего времени, полных компьютерных программ оптимизации агротехнологий, полного цикла получения урожая в хозяйственных условиях пока не используют.

Эксергетическая модель. Анализ существующих составляющих МА позволяет прийти к выводу, что они далеко не все соответствуют рассмотренным требованиям. Это относится как к расчетным общесистемным динамическим адаптивным моделям, так и к составляющим процессов в АТЦ, описывающим совместный анализ природных и техногенных процессов преобразования энергии в единой управляемой системе. В разработанной ГНУ ВИЭСХ модели [13] использован принцип энергетической экстремальной самоорганизации и прогрессивной эволюции, а в качестве точки отсчета выбрана поступающая к растениям эксергия энергии солнечного излучения.

Модель обеспечивает возможность определения законов управления агропроцессами с учетом потенциальной продуктивности растений. Принципиальная последовательность управления АТЦ основывается на принципе энергетической экстремальности самоорганизации [15] и состоит в следующем. В ходе автоматического управления продукционным процессом растений в многофакторной системе «растение – окружающая среда» из большого числа переменных выбирают одну, наиболее быстро изменяющуюся и наиболее сильно влияющую на процессы в системе (переменную порядка). Для АТЦ – суммарную эксергию оптического излучения в отношении фотосинтеза растений. Все иные параметры и переменные в дальнейшем рассматривают как параметры управления, с помощью некоторых из них, возможно, осуществить воздействия на продукционные процессы растений (температура, влажность воздуха,

влажность почвы, концентрация минеральных элементов корневого питания). Измеряют значение переменной порядка. По тестовой базе фактических состояний определяют, какой из параметров управления находится в относительном минимуме, т.е. изменение какого из параметров управления приведет к наибольшей реализации переменной порядка.

Блок-схема устройства, реализующего указанный процесс управления, приведена на рис. 1. Устройство содержит датчик мощности эксэргии оптического излучения 1, таймер 2, блок вычисления расчетной величины суммарной эксэргии 3, блок памяти 4, компаратор 5, управляющий логический коммутатор 6, датчик температуры окружающей среды 7, датчик температуры воздуха 8, датчик влажности почвы 9, управляющие ключи 10, 11, 12, 13, 14.

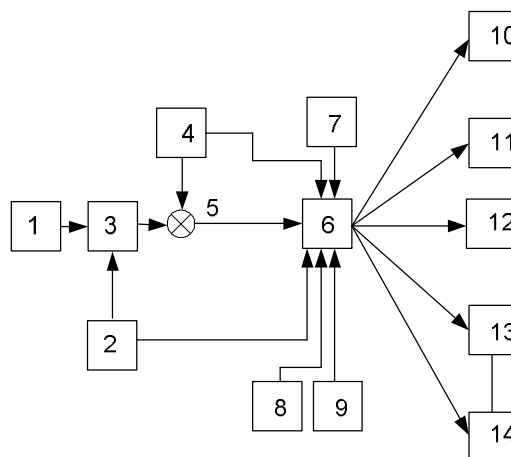


Рис. 1. Устройства управления агропроцессами с учетом потенциальной продуктивности растений

При работе устройство через промежутки времени, устанавливаемые таймером, определяют значения параметров управления и переменной порядка. В банк данных устройства заложены ретроспективные значения переменной порядка и параметров управления, определяющие оптимальные значения параметров управления, а также тесты физиологического состояния растений. Указанная информация, совместно с оперативными данными, получаемыми в ходе процесса, используют для определения тенденций изменения мощности эксэргии в ходе реализации управления, а также для выбора параметра управления, находящегося в области относительного минимума, изменение которого наиболее актуально в данный момент времени. Уточнение значений параметров управления производится на каждом шаге мониторинга процесса [15].

Такая система повышает экономическую и энергетическую эффективность растениеводства за счет увеличения продуктивности растений при сокращении удельных затрат техногенной энергии на выполнение технологического процесса при получении продукции.

Подобная система управления позволяет также устанавливать уровень эффективности (точности, оптимальности) агротехнологии с учетом экологических условий конкретных земельных угодий. Для этого:

- по результатам завершения полного цикла получения урожая по оцениваемой технологии устанавливают реальный урожай, выражаемый в эксэргетических единицах ($e_{рпц}$);
- рассчитывают теоретическое значение потенциально возможного урожая в заданных экологических условиях в эксэргетических единицах ($e_{тпв}$);
- проводят сопоставление реально полученного урожая (продуктивности) с расчетным (теоретически возможным) значением в тех же экологических условиях по выражению:

$$E(\%) = e_{рпц} / e_{тпв},$$

где: E – показатель уровня эффективности – оптимальности агротехнологии; $e_{рпц}$ – реальный урожай в эксэргетических единицах; $e_{тпв}$ – теоретическое значение потенциально возможного урожая в заданных экологических условиях в эксэргетических единицах,

- отклонение от 100% характеризует меру несоответствия оцениваемой агротехнологии в данных экологических условиях земельного угодья, значение этого отклонения характеризует уровень, возможности дальнейшего совершенствования агротехнологии в существующих экологических условиях земельного угодья.

Выводы

Связь общих принципов естествознания свидетельствует о возможности использования математической теории оптимального управления при создании теории оптимального управления в аграрнопромышленном производстве и природопользовании.

Список литературы

1. Лачуга Ю.Ф. Точное земледелие и животноводство – генеральное направление развития сельскохозяйственного производства в 21 века по созданию высокоэффективных оптимальных точных агротехнологий //Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства. – М.: ГНУ ВИМ, 2005. – С. 8 – 11.
2. Исполов Ю. Г., Топаж А. Г. Метод динамического программирования в моделировании онтогенеза растений на основе принципа оптимальности. - СПбГПУ, Санкт-Петербург, Агрофизический НИИ, Санкт-Петербург.
3. Хворова Л. А. Методологические аспекты структурно-параметрической идентификации динамических моделей агроэкосистемы. - Алтайский государственный университет, Барнаул.
4. Полуэктов Р. А., Смоляр Э. И., Терлеев В. В., Топаж А. Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006.
5. Penning de Vries F. W. T., Jensen D.M., ten Berge H. F. M., Baketa A.H. Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crops. Wageningen: Pudoc, 1989.

6. Новые направления моделирования в сельскохозяйственной биологии. Михайленко И. М. ГНУ Агрофизический НИИ Россельхозакадемии, Санкт-Петербург.

7. Model based interactive decision support system for the development of economic effective adaptation strategies of agriculture to climate change Wenkel, K.-O., Berg, M., Wieland, R., Mirschel, W. Institute of Landscape Systems Analysis of the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Muencheberg, Germany.

8. Williams J. R. The EPIC Model. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, 1984.

9. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. М.: Наука, 1991.

10. Чупринин В. Г. Модель фиксации молекулярного азота для оптимизации пищевого режима сои на орошении // Режимы орошения и способы полива сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе. Новочеркасск, 1983.

11. Хворова Л. А. Моделирование влияния азотного питания на продукционный процесс посева люцерны: дисс. канд. техн. наук. СПб., 1992.

12. Хворова Л. А., Гавриловская Н. В. Разработка алгоритма определения года-аналога для оценки урожайности зерновых культур в условиях Алтайского края. // Известия АлтГУ, 2007. № 1 (53). – С. 66 – 67.

13. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации. М., ГНУ ВИЭСХ, 2007.

14. Эксергетический анализ биоконферсии энергии при получении ее из биомассы Д.С. Стребков, И.И. Свентицкий и др. В кн. Научный Вестник. - национальный агроуниверситет, № 96, К.: 2006. – С. 162 – 168.

15. Патент RU 2350068, Способ и устройство автоматического управления продукционным процессом растений с учетом самоорганизации / авторы: И.И. Свентицкий, Королев В.А., Е.О. Алхазова. – БИ №9, 2009.

The questions of the merit and forecast exergy models agrarian production creation as well as the use of these models for the governing of the agrarian process are considered.

Evolution, energy, information, exergy, agrarian production, plant, mathematical model.