

На правах рукописи

Клачек Павел Михайлович

**Моделирование и интеллектуальное управление
агротехнологическим процессом в био-производственной
системе**

Специальность 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации
(информатика)»

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Калининград - 2001

Диссертация выполнена в Калининградском государственном техническом университете.

Научный руководитель: кандидат
технических наук,
доцент Колесников
А.В.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Гаврилова Татьяна
Альбертовна

доктор технических наук, профессор Полуэктов Ратмир
Александрович

Ведущая организация: НПО «Импульс».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного технического университета по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.

Автореферат разослан 3 декабря 2001 г.

Шашихин В.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность.

Переход агросектора на рыночные отношения осуществляется в условиях острой конкуренции с зарубежными производителями, а также низкими доходами в сравнении с возможными. По оценкам экспертов рентабельность производства продукции растениеводства в Калининградской области в 2-2,5 раза ниже, чем в аналогичных по климату Западной Европе и Балтии. Получение максимальной прибыли от растениеводства в этих регионах достигается внедрением новой техники и технологий, высокоурожайных сортов, синтетических регуляторов роста, средств защиты растений и т.д., а также совершенствованием планирования агротехнологического процесса на основе использования средств вычислительной техники и современных информационных технологий.

Для обработки информации и для управления производством продукции в растениеводстве Российскими учеными разработаны математические модели продуктивности посевов, формирования урожаев и т.д. Значительный вклад в моделирование агроэкосистем внесли известные ученые Р.А. Полуэктов, Н.Ф. Бондаренко, А.Н. Полевой, В.И. Панасин и др.

Существующие методы, модели и инструментарии математического моделирования в сельском хозяйстве ориентированы, в основном, на учет зональных, а также региональных закономерностей роста, развития культур, формирования урожаев и успешно используются в научных исследованиях, хотя и имеют огромный потенциал для практики.

В практике же планирования агротехнологического процесса для получения максимальной прибыли в растениеводстве, по-прежнему огромную роль играют знания специалистов о специфике уникальной системы "растение-воздух-почва" и что особенно важно конкретного поля, а также участка поля агрофирмы.

Коррекция фундаментальных, региональных математических моделей агроэкосистем эвристическими знаниями земледельцев - одна из проблем организации интеллектуального управления производством продукции в растениеводстве. Важность исследования этой проблемы обусловлена необходимостью разработки методов и программно-технических средств: системного анализа задачи планирования агротехнологического процесса, создания модельного базиса и интегрированных моделей ее решения, а также инженерных методик и инструментариев моделирования для интеллектуального управления биопроизводства и представляет теоретический и

практический интерес.

Целью работы является системный анализ задачи планирования агротехнологического процесса, синтез интегрированных моделей агротехпроцесса, разработка программного инструментария для решения задачи планирования на примере конкретной биопроизводственной системы (БПС).

Для достижения цели диссертационного исследования были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Исследованы особенности планирования агротехнологического процесса в БПС.
2. Разработана многоуровневая модель интеллектуального управления агротехнологическим процессом в БПС.
3. Проведен системный анализ задачи планирования агротехнологического процесса.
4. Разработан модельный базис и интегрированные модели решения задачи планирования агротехнологического процесса.
5. Создана методика моделирования агротехнологического процесса.
6. Разработан пакет программ моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом и оценена в ходе опытной эксплуатации эффективность его использования для решения реальных задач управления агротехнологическим процессом в конкретной БПС.

Сущность решавшихся задач потребовала использования методов теории систем и системного анализа, математического моделирования в с/х хозяйстве, теории множеств, искусственного интеллекта и инженерии знаний; программирования на ЭВМ.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием утверждений строго доказанных методами теории систем и системного анализа, математического моделирования в с/х хозяйстве, искусственного интеллекта и инженерии знаний, а также - многочисленными экспериментами с пакетом программ «Система неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом».

Работа поддержана специальной стипендией Правительства Российской Федерации № 662 от 28 июля 1999 г.

Научная новизна.

Исследованы особенности и проведено структурирование управления агротехнологическим процессом в БПС. Дано понятие задачи планирования

агротехпроцесса. Как показали исследования, для решения задачи планирования значимы различные виды формализованных, региональных и неформализованных уникальных знаний земледельцев, а также комплексное, взаимоувязанное моделирование (решение с использованием средств вычислительной техники и современных информационных технологий) подзадач, входящих в состав задачи планирования, что требует качественно новых, интегрированных подходов, технологий и инструментариев.

Разработаны многоуровневая модель интеллектуального управления агротехнологическим процессом в БПС и концептуальная модель задачи планирования агротехпроцесса. Построено и исследовано шесть вариантов ее декомпозиции.

Предложена модель взаимодействия задачи планирования агротехпроцесса и методов моделирования. Разработан модельный базис решения задачи планирования имеющий в составе 27 автономных моделей, включая 10 аналитических, 16 эвристических (экспертные, нечеткие системы) моделей, а также модель формирования агротехнологий и технико-экономических расчетов по определению затрат на производство продукции. Разработана методика синтеза структуры интегрированной модели агротехпроцесса, которая рассматривается как метод решения задачи планирования агротехпроцесса. В соответствии с вариантами декомпозиции задачи планирования построено и исследовано шесть интегрированных моделей агротехпроцесса.

Проанализированы методики моделирования агротехнологического процесса в модельном базисе. Рассмотрены содержание и структура неоднородного моделирования агротехнологического процесса. Исследованы свойства и преимущества неоднородного моделирования агротехпроцесса. Методика неоднородного моделирования, основана на парадигме коррекции фундаментальных аналитических зависимостей агроэкосистем эвристическими знаниями и, по существу, базируется на итерационном выполнении под контролем разработчика и пользователя двух основных процедур - системного анализа неоднородной задачи планирования агротехнологического процесса и синтеза интегрированных моделей ее решения.

Разработан пакет программ «Система неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом - СНМИ УАП». Проведена опытная эксплуатация и экспериментальная проверка разработанных методических и программных средств неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехпроцессом. Рассчитана экономическая и

обоснована социальная эффективность применения пакета программ СНМИ УАП. С осени 1999 г. система СНМИ УАП внедрена в с/х предприятиях Багратионовского района Калининградской области на площади свыше 2 000 гектар и позволяет получать дополнительную прибыль 12-15%, а в отдельных случаях до 25-30 % на один гектар.

Практическая ценность.

Разработаны инженерные методики и пакет программ СИМИ УАП. С осени 1999 г. система СНМИ УАП внедрена в с/х предприятиях Багратионовского района Калининградской области на площади свыше 2 000 гектар и позволила: снизить ошибки в прогнозах значений урожайности с/х культур; увеличить урожайность с/х культур; сократить простои рабочих по организационным причинам и простои техники и оборудования; сократить расход материальных ресурсов (горюче-смазочных материалов, удобрений, семян и т.д.); получить дополнительную прибыль; снизить затраты труда на подготовку необходимой технологической документации.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на международных научных и научно-технических конференциях: «Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям, SCM 98» (Санкт-Петербург, 1998); «Organizational structures, management, simulation of business sector and systems, IFORS SPC 8» (Каунас, 1998); «Международной конференции посвященной 40 - летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России» (Калининград, 1999); «Mathematical Modeling and Analysis, 4th International Conference ММА99» (Вильнюс, 1999); «Международной научной конференции посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета» (Калининград, 2000); на научно-методических семинарах: кафедры интеллектуальных технологий в проектировании Санкт-Петербургского государственного технического университета (Санкт-Петербург, 2000); кафедры систем управления и вычислительной техники Калининградского государственного технического университета (Калининград, 1998, 1999, 2000, 2001); Санкт-Петербургского отделения Российской ассоциации искусственного интеллекта (Санкт-Петербург, 1999); Калининградского отделения Российской ассоциации искусственного интеллекта (Калининград, 2001).

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 159 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 120 наименований, приложений, содержит 11 таблиц и 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показывается актуальность темы, формулируется цель исследования и дается характеристика структуры и объема диссертационной работы.

В первой главе - «Современное состояние проблемы планирования агротехнологического процесса и постановка задач исследования» - рассматриваются особенности управления агротехнологическим процессом в БПС, приводится анализ методов, моделей и инструментальных средств планирования агротехнологического процесса, формулируются проблемы, которые и исследуются в последующих главах диссертации.

Технологическим процессом P_g на интервале (t_n, t_k) будем называть конечную последовательность технологических операций $x_{gm} \in X^{mex}$, связанных временным отношением «быть позже» (r_1^3) и направленную на выполнение агротехнических мероприятий

$$x_g^{agr} \in X^{agr} :$$

$$P_g(t_n, t_k) = x_{g1}(t'_{n1}, t''_{k1}) r_1^3 x_{g2}(t'_{n2}, t''_{k2}), \dots, r_1^3 x_{gm}(t'_{nm}, t''_{km}), \quad (1)$$

где: g - порядковый номер P_g ; m - номер операции, выполняемой в ходе P_g ; (t'_{nm}, t''_{km}) - моменты начала и окончания операции соответственно.

Под агротехнологическим процессом на уровне отдельного с/х поля (агроэкосистемы) P^a на интервале (t_0, t_1) понимается совокупность взаимосвязанных и регламентированных по времени и месту агротехнических мероприятий $x_g^{agr} \in X^{agr}$, выполняющих преобразование состояний агроэкосистемы S в условиях действия на невозмущающих факторов E : $P_g(X^{agr}, r_1^3, E(\tau), t_0, t_1, t) \rightarrow S \quad (2)$

Управление агротехнологическим процессом проходит в БПС - сложной системе, включающей агротехнические, инженерные и экономические элементы хозяйственной деятельности с/х предприятия, обусловленной использованием земли как главного средства труда, которые взаимодействуют с биологическими, экологическими и другими природными процессами.

Исследуются и даются формальные описания фаз управления

агротехнологическим процессом: учета, контроля, анализа, прогнозирования, регулирования, планирования.

Исследования показали, что планирование и прогнозирование - важнейшие взаимосвязанные фазы управления. Ошибки в рамках данных фаз могут привести к банкротству отрасли в рамках данного хозяйства, а планирование и прогнозирование агротехнологического процесса (ниже просто задача планирования) сложная задача, включающая множество подзадач, наследующих свойства рассмотренных выше фаз управления.

Приведенный анализ показал, что на сегодняшний день нет средств комплексного, т.е. взаимоувязанного, итерационного моделирования подзадач, входящих в состав задачи планирования. Не системная постановка, автоматизация и применение на практике результатов моделирования отдельных подзадач задачи планирования приводит к: серьезным ошибкам в планировании агротехпроцесса; сложностям в адаптации и эксплуатации множества не взаимоувязанных моделей, особенно к условиям конкретных полей и участков полей; незначительному повышению эффективности с\х производства при больших затратах на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и инструментариев моделирования планирования агротехпроцесса,

Как показали наблюдения в конкретных БПС задача планирования решается в ходе коллективной деятельности в системе интеллектуального управления когда лицо принимающее решение (ЛПР) принимает решения, опираясь на все имеющиеся у него и доступные его интеллекту формализованные и не формализованные разнородные знания (в том числе знания других специалистов - экспертов). Разнородность знаний выражается в необходимости представления и манипулирования различными по природе знаниями: аналитическими формулами, статистикой, эвристиками, что, в свою очередь, требует от разработчика при автоматизации решения задачи планирования выхода за рамки отдельных методов моделирования. Существующие инструментарии математического моделирования планирования (основосоставляющие знания в системе интеллектуального управления агротехпроцессом) ориентированы, в основном, на учет зональных, а также региональных закономерностей роста, развития культур, формирования урожаев и успешно используются в научных исследованиях, хотя и имеют огромный потенциал для практики. В практике же планирования для получения максимальной прибыли в растениеводстве, по-прежнему огромную роль играют знания специалистов о специфике конкретной системы "растение-воздух-почва" и, что

особенно важно, конкретного поля, а также участка поля агрофирмы, а также комплексного, взаимоувязанного решения подзадач, входящих в состав задачи планирования.

Для решения задачи планирования значимы различные виды формализованных, региональных и неформализованных уникальных знаний земледельцев. Такое решение не может быть поддержано известными инструментариями моделирования отдельных подзадач и требует качественно новых, интегрированных подходов, технологий и инструментариев.

В заключении главы приводится постановка задач исследования.

Вторая глава - «Системный анализ задачи планирования агротехнологического процесса» - рассматривается многоуровневая модель интеллектуального управления агротехнологическим процессом в БПС, исследуется и приводится концептуальная модель и рассматриваются вопросы редукции и декомпозиции неоднородной задачи планирования.

Задача планирования решается в БПС на планово-экономической, агрономической и инженерной ступах соответственно, включающих одно или несколько ЛПР, а также экспертов-агрономов, инженеров, экономистов и других специалистов, в процессе коллективной деятельности на разных уровнях от конкретного участка с/х поля, поля в целом, агрофирмы до района и области.

Предложена модель интеллектуального управления агротехпроцессом, в соответствии с основными особенностями которой, в рамках отработанной в с/х хозяйстве методики системного анализа агроэкосистем, разработаны концептуальная модель задачи планирования и концептуальные модели однородных задач, входящих в ее состав. Предложенные концептуальные модели задачи планирования вводят ее классификационную принадлежность фазам управления, учитывают особенности системы измерений и агромониторинга, а также обмен информацией между однородными задачами в составе задачи планирования, позволяют использовать ЭВМ и системы с базами данных и знаний, оказывая разработчикам необходимую помощь в процессе системного анализа задачи планирования.

Построено и исследовано множество декомпозиции задачи планирования, в результате чего выбор был остановлен на структуре, изображенной на рис. 1. Отношения на рис. 1, -это отношения обмена информацией, показывающие в каком порядке "справа - налево" решаются однородные задачи, изображенные овалами. В рамках представленной на рис.1 структуры было разработано шесть вариантов

декомпозиции задачи планирования, соответствующих различным почвенно-климатическим условиям возделывания с\х культур, для четырех с\х культур: озимая пшеница и рожь, яровой ячмень, картофель.

Обозначения: СГА- планирование механизации процессов производства; АГР7 - планирование агротехнологий возделывания с\х культур; АГР5 - прогнозирование



Рис. 1. Декомпозиция задачи планирования.

Основные особенности разработанных вариантов декомпозиции: комплексное, взаимоувязанное решение подзадач, входящих в состав задачи планирования; совместное применение (коррекция) фундаментальных, региональных математических моделей агроэкосистем (однородная задача АГР2Р) и эвристических знаний земледельцев, формализованных в рамках экспертных, нечетких систем (однородная задача АГР2С), позволяющая адаптировать математические модели агроэкосистем к специфике конкретных систем "растение-воздух-почва" поля, а также участка поля агрофирмы.

Синтез метода решения задачи планирования для предложенных вариантов декомпозиции рассмотрен в третьей главе диссертационной работы.

В третьей главе - "Синтез метода решения неоднородной задачи планирования агротехнологического процесса" - дается модель взаимодействия задачи планирования и интегрированной модели агротехнологического процесса, описывается модельный

базис ее решения, приводятся и исследуются интегрированные модели агротехпроцесса, рассматривается методика синтеза метода решения задачи планирования.

Однородные задачи вариантов декомпозиции задачи планирования базируются на соответствующих им областях знаний предметной области: физиологии с/х культур, агротехнике и т.д. Таким знаниям релевантны различные методы формализации: математическое моделирование, экспертные системы, искусственные нейронные сети и т.д. В процессе формализации создаются автономные, соответствующие отдельным однородным задачам, модели. Рассматривается следующая модель взаимодействия однородных задач и автономных моделей:

$$W^{ha} = \langle W^h, W^a, \Psi^{nm} \rangle \quad (3)$$

где: $W^h = \Pi^h$, $\Pi^h = \{\pi_1^h, \dots, \pi_{N_h}^h\}$ - множество однородных задач варианта декомпозиции задачи планирования; W^a - совокупность: ${}^A M^a = \{m_1^a, \dots, m_{N_A}^a\}$, ${}^L M^a = \{m_1^a, \dots, m_{N_L}^a\}$ - множеств автономных моделей соответствующих аналитическим, эвристическим знаниям в системе интеллектуального управления агротехпроцессом;

$$\Psi^{nm} = \{\Psi_1^{nm}, \Psi_2^{nm}\}; \Psi_1^{nm} \subseteq \Pi^h \times \overset{A}{\bullet} M^a, \Psi_2^{nm} \subseteq \Pi^h \times \overset{L}{\bullet} M^a$$

- семейство соответствий однородных задач автономным моделям, см. пример на рис.3 (штрих пунктирные линии).

После редукции задачи планирования разнородные знания автономных моделей синтезируются в единую структуру, называемую в настоящей работе интегрированной моделью (ИМ) агротехпроцесса.

Модель взаимодействия неоднородной задачи планирования и ИМ агротехпроцесса имеет вид:

$$W^{uh} = (\pi_i^u, m^i, W^{ha}) \quad (4)$$

где: π_i^u - вариант декомпозиции неоднородной задачи планирования; m^i - ИМ агротехпроцесса.

Для синтеза метода решения задачи планирования предлагается методика, в которой используется следующий подход. Синтез осуществляется над модельным

базисом задачи планирования, включающего в свой состав 27-мь автономных моделей, включая 10 аналитических, 16 эвристических (экспертные, нечеткие системы) моделей, а также модель формирования агротехнологий и технико-экономических расчетов по определению затрат на производство продукции. Модельный базис охватывает возделывание четырех культур -озимой пшеницы и ржи, ярового ячменя, а также картофеля. В соответствии с методикой, в процессе диалога с ЭВМ, синтезируется структура ИМ агротехпроцесса, которая рассматривается как метод решения задачи планирования.

В основу ИМ агротехпроцесса положена парадигма эвристической коррекции фундаментальных, региональных математических моделей агроэкосистем эвристическими знания земледельцев. В результате эвристической коррекции происходит объединение аналитического описания механизмов физиологических процессов, энерго- и массообмена в среде обитания растений и агроэкологических связей аналитических моделей с эвристическими знаниями земледельцев, формализованными в рамках эвристических (экспертные, нечеткие системы и т.д.) моделей. Пример эвристической коррекции, представлен на рис. 2. Результатом эвристической коррекции являются усовершенствованные математические модели, топологические структуры которых дополнены параметрами, идентифицируемыми по экспериментальным (практическим) знаниям и данным земледельцев, что позволяет повысить правильность отображения физических и биологических процессов системы "растение-воздух-почва" конкретного поля хозяйства.

На рис. 3 приведен пример ИМ агротехпроцесса разработанной для благоприятных почвенно-климатических условий возделывания озимой пшеницы. В верхней части рис. 3 показан вариант декомпозиции задачи планирования, в нижней изображена ИМ агротехн-процесса. Отношения в верхней части на рис. 3 - это отношения декомпозиции, показывающие в каком порядке "справа - налево" решаются однородные подзадачи. Отношения в нижней части рис. 3 - информационные отношения между автономными моделями модельного базиса, изображенными окружностями и овалами в нижней части рисунка.

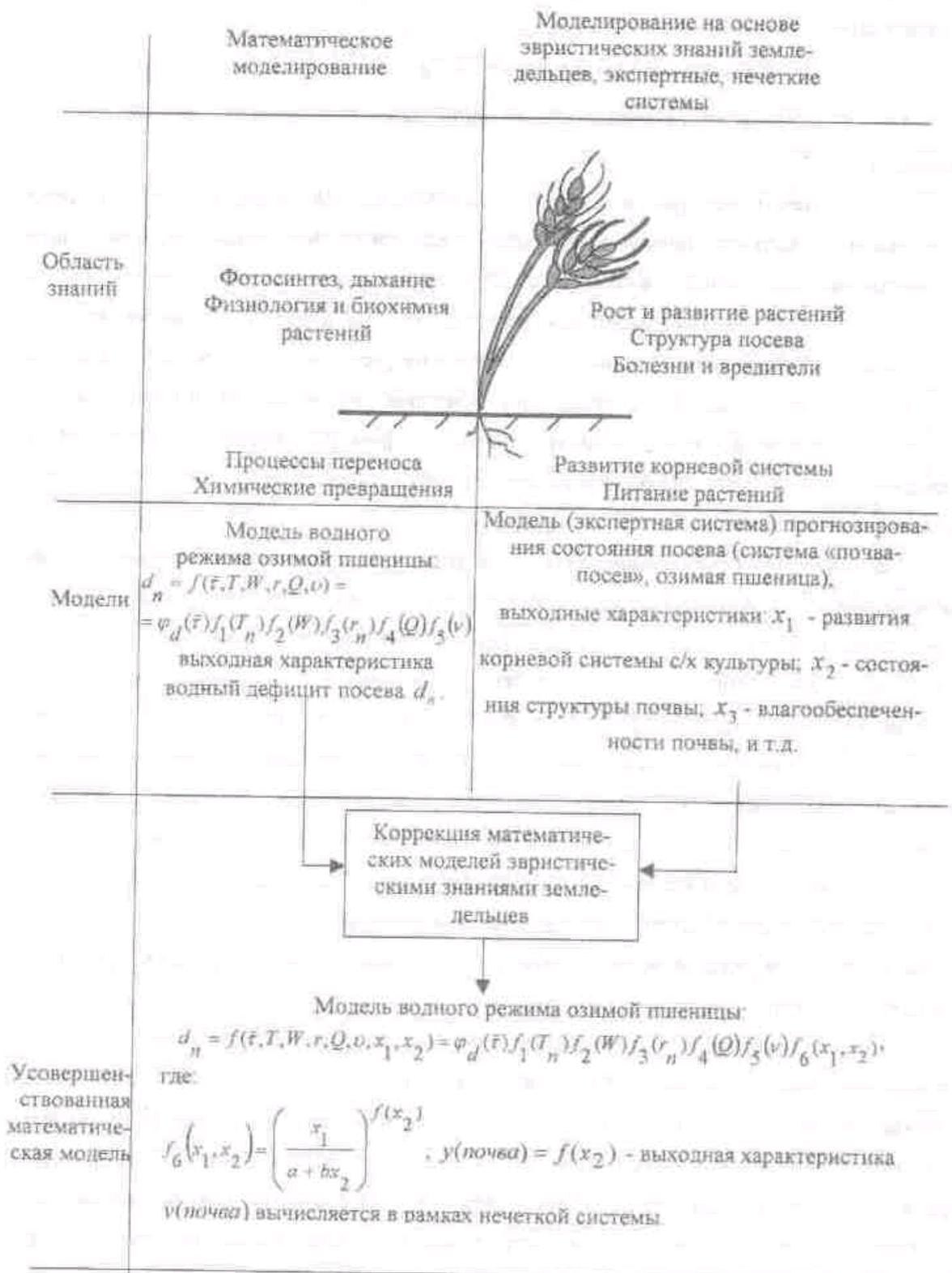
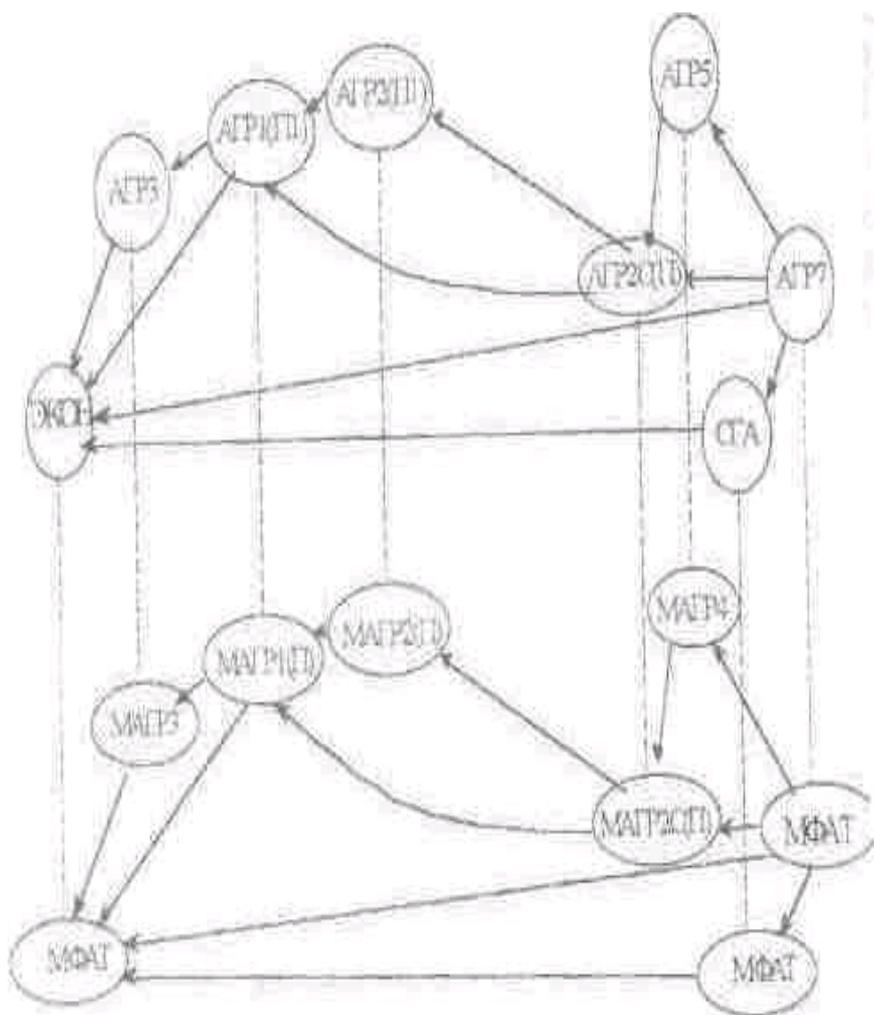


Рис. 2. Пример эвристической коррекции, система «почва-посев».



Обозначения: МФАТ — автономная модель формирования агротехнологий, расчета денежно-материальных затрат на производство с/х продукции (методика построения АСУ); автономные математ. модели: МАГР2(П) - роста, развития посева (включает модель водного режима и т.д.), МАГРЦП) - прогнозирования урожая с/х культур, МАГР3 - расчета доз удобрений и микроэлементов; эвристические автономные модели: МАГР2С(П) (включает МАГР2НЦП)) - прогнозирования состояния посева - экспертная (нечеткая) система, МАГР4 - повреждения с/х культур болезнями, вредителями, сорняками - ЭС; П - озимая пшеница.

Рис.3. Интегрированная модель агротехпроцесса.

В соответствии с вариантами декомпозиции задачи планирования построено множество из шести ИМ агротехпроцесса. Интегрированные модели агротехпроцесса исследованы в пятой главе диссертационной работы.

Создание ИМ био-производства - сложный, наукоемкий процесс, в котором большую роль играют интуиция, знания и искусство разработчиков. Рассмотренные во второй и третьей главе диссертации модели, методы и алгоритмы системного анализа и синтеза метода решения задачи планирования позволяют структурировать такой процесс таким образом, чтобы, максимально используя ЭВМ и системы с базами данных и знаний, оказывать разработчикам необходимую помощь и позволяют перейти к построению методики неоднородного моделирования (НМ) агротехпроцесса, которая рассматривается в четвертой главе диссертационной работы.

В четвертой главе — "Методика неоднородного моделирования

агротехнологического процесса" - дается анализ методик моделирования агротехпроцесса в модельном базисе, рассматривается содержание, свойства и преимущества неоднородного моделирования агротехпроцесса.

Исследуются структура, основные этапы, свойства, а также преимущества и недостатки следующих методов моделирования агротехпроцесса в модельном базисе: математического моделирования, моделирования с использованием экспертных, нечетких систем и искусственной нейронной сети.

Предлагается структура и содержание НМ агротехпроцесса. Исследуются свойства и преимущества НМ.

Методика НМ, по существу, базируется на итерационном выполнении учеными агробиологами совместно с математиками, специалистами по инженерии знаний и программистами двух основных процедур - системного анализа неоднородной задачи планирования и синтеза ИМ ее решения, в основе которых положена коррекция фундаментальных аналитических зависимостей региональных математических моделей агроэкосистем эвристическими знаниями земледельцев для интеллектуального управления агротехпроцессом. В ходе эксплуатации, разработанные ИМ агротехпроцесса, используются в ходе интеллектуального управления производством продукции растениеводства в конкретных агрофирмах.

Следующая глава посвящена опытной эксплуатации и экспериментальной проверке разработанных методических и программных средств НМ и интеллектуального управления агротехпроцессом.

Пятая глава - "Инструментальные средства и экспериментальные исследования неоднородного моделирования агротехнологического процесса" - посвящена опытной эксплуатации и экспериментальной проверке разработанных методических и программных средств неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехпроцессом. Здесь рассматривается пакет программ «Система неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом - СНМИ УАП», приводятся оценки экономической и социальной эффективности неоднородного моделирования агротехнологического процесса.

В первой части главы описывается разработанная автором «Система неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом — СНМИ УАП».

Вторая часть главы посвящена опытной эксплуатации и экспериментальной проверке разработанных методических и программных средств неоднородного

моделирования и интеллектуального управления агротехпроцессом. Ставятся цели и задачи опытной эксплуатации.

Для проведения экспериментальной проверки разработанных средств НМ агротехпроцесса в условиях Калининградской области. Агропромышленным комитетом администрации Калининградской области был выбран Багратионовский район, один из крупнейших производителей продукции растениеводства, в рамках которого выбрано с/х предприятие ООО им. Ладушкина, крупнейший производитель зерновых и картофеля в Калининградской области. Схема организации экспериментальной проверки представлена на рис. 4.

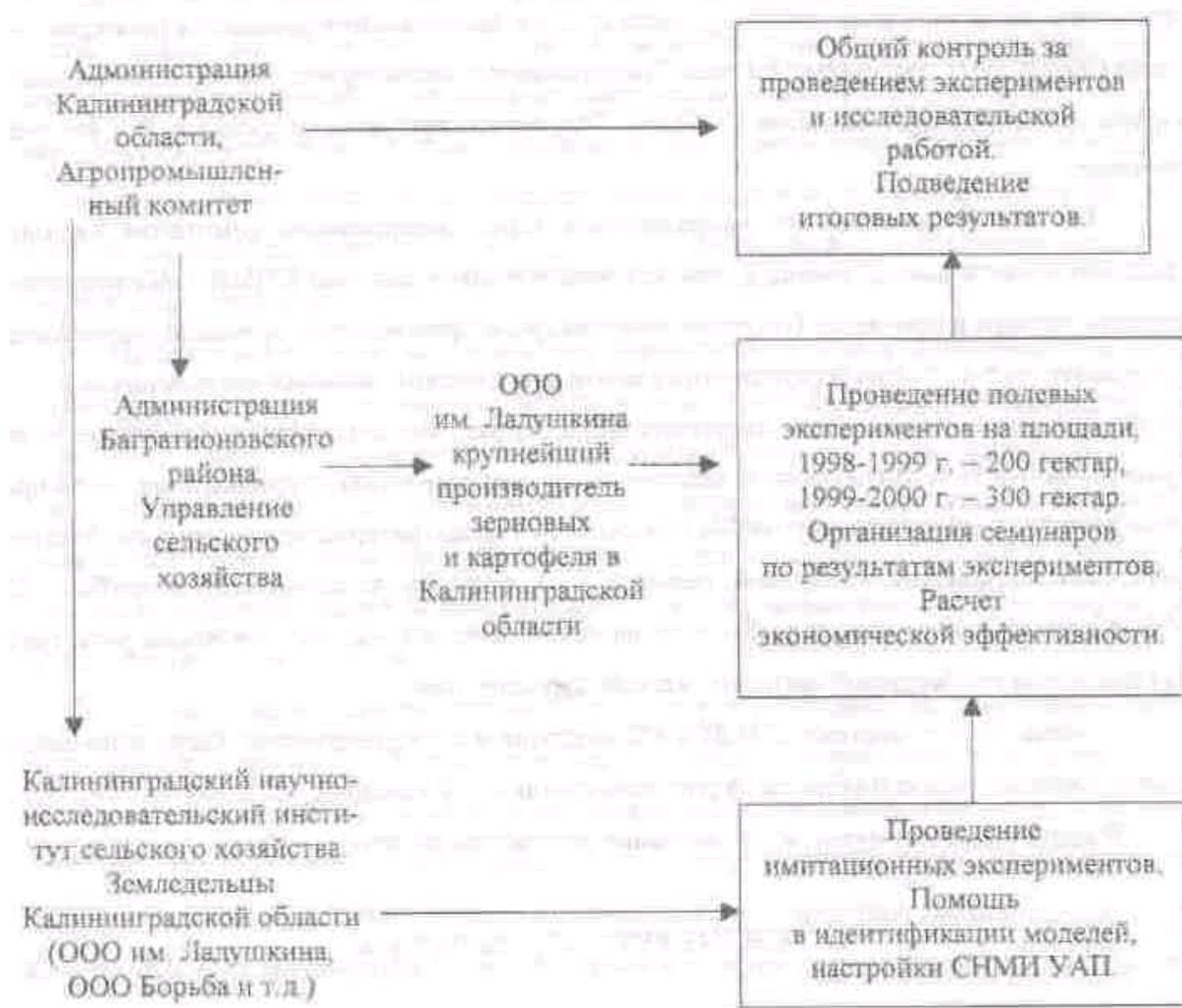


Рис. 4. Организация экспериментов,

Качество работы ИМ оценивалось по качеству работы математических моделей МАГР2 и МАГР1, т.е. моделей, прогнозирующих рост, развитие и урожай с/х культур (пример, рис.3., МАГР2(П), МАГР1(П) - озимая пшеница). Для оценки качества автономных моделей использовались стандартные методики оценки принятые в

математическом моделировании агроэкосистем, рассчитывались среднее относительное отклонение R_{cp} и коэффициент несовпадения Тейлора U для моделей МАГР2 (биомасса, площадь листовой поверхности) и отклонение от фактического значения в процентах (%) для МАГР1 (урожайность). Как показали эксперименты коррекция математических моделей агроэкосистем эвристическими знаниями земледельцев, в рамках ИМ агротехпроцесса, позволяет более адекватно моделировать процессы и явления агроэкосистем, что положительно сказывается на синхронности колебаний, и меньшей погрешности при прогнозировании урожайности с/х культур.

Средние значения затрат времени на предварительный анализ агроклиматических прогнозов, моделирование агротехпроцесса и поиск рациональных решений с помощью системы СНМИ УАП составляют 2,3 часа. Эксперименты показали, что для выполнения аналогичных работ вручную службам ООО им. Ладушкина требуется, в среднем, 8 ч рабочего времени.

По итогам проведенных экспериментов Агропромышленным комитетом Калининградской области сделан вывод, о том что использование системы СНМИ УАП позволяет:

снизить ошибки в прогнозах (по годовому циклу с/х производства) значений урожайности с/х культур до 5-10 % при благоприятных агроклиматических условиях возделывания и до 7-14 % при сложных условиях; увеличить на 5 %, по нижней границе, урожайность с/х культур; на 2-6 % снизить простои рабочих по организационным причинам и на 3-7 % простои техники и оборудования; на 3-11 % снизить расход материальных ресурсов (горюче-смазочных материалов, удобрений, семян и т.д.); получать дополнительную прибыль 12-15%, а в отдельных случаях и до 25-30 % на один гектар; в 8 - 10 раз снизить затраты труда на подготовку необходимой технологической документации.

С осени 2000 г. система СНМИ УАП внедрена в с/х предприятиях Багратионовского района Калининградской области на площади свыше 2 000 гектар. В заключении формулируются основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Исследованы особенности и проведено структурирование управления агротехнологическим процессом в БПС. Анализ показал, что планирование и прогнозирование - важнейшие взаимосвязанные фазы управления. Ошибки в рамках

данных фаз могут привести к банкротству отрасли в рамках данного хозяйства, а планирование агротехнологического процесса сложная задача, включающая множество подзадач, наследующих свойства рассмотренных выше фаз управления.

Исследованы подзадачи, возникающие при планировании агротехпроцесса, проанализированы методы их решения экспертами, а также известными в России и за рубежом инструментариями. Как показали исследования для решения задачи планирования значимы различные виды формализованных, региональных и неформализованных уникальных знаний земледельцев. Такое решение не может быть поддержано известными инструментариями моделирования отдельных подзадач и требует качественно новых, интегрированных подходов, технологий и инструментариев.

Разработаны многоуровневая модель интеллектуального управления агротехнологическим процессом в БПС и концептуальная модель задачи планирования агротехпроцесса. Построено и исследовано шесть вариантов ее декомпозиции. Основная особенность разработанных вариантов декомпозиции - возможность совместного применения (коррекции) фундаментальных, региональных математических моделей агроэкосистем и эвристических знаний земледельцев, формализованных в рамках экспертных, нечетких систем. Такая коррекция позволяет адаптировать математические модели агроэкосистем к специфике конкретной системы "растение-воздух-почва" и, что особенно важно конкретного поля, а также участка поля агрофирмы.

Предложена модель взаимодействия неоднородной задачи планирования агротехпроцесса и методов моделирования. Разработан модельный базис решения задачи имеющий в составе 27 автономных моделей, включая 10 аналитических, 16 эвристических (экспертные, нечеткие системы) моделей, а также модель формирования агротехнологий и технико-экономических расчетов по определению затрат на производство продукции. В соответствии с вариантами декомпозиции задачи построено и исследовано шесть интегрированных моделей агротехпроцесса.

Проанализированы методики моделирования агротехпроцесса в модельном базисе. Рассмотрены содержание и структура неоднородного моделирования агротехпроцесса. Исследованы свойства и преимущества неоднородного моделирования агротехпроцесса. Методика неоднородного моделирования, по существу, базируется на итерационном выполнении под контролем разработчика и пользователя двух основных процедур - системного анализа задачи планирования

агротехпроцесса и синтеза интегрированных моделей ее решения.

Разработан пакет программ «Система неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехнологическим процессом - СНМИ УАП». Проведены опытная эксплуатация и экспериментальная проверка разработанных методических и программных средств неоднородного моделирования и интеллектуального управления агротехпроцессом. Рассчитана экономическая и обоснована социальная эффективность применения пакета программ СНМИ УАП.

Содержание диссертационной работы отражено в публикациях:

1. Колесников А. В., Клачек П.М. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по возделыванию сельскохозяйственных культур// Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (§СМ 98): Сб. докл. - СПб: Изд. СПбГТУ, 1998.С.227-230.

2. Клачек.П.М. Философские основы био - производственной методологии // Сб. тр. международной конференции посвященной 40 - летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России. - Калининград:

Изд. КГТУ, 1998.С. 146-148.

3. Клачек П.М. Синтез интеллектуального управления био - производственной системой// Сб. тр. международной научной конференции посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета. - Калининград: Изд. КГТУ, 2000.С.235-237.

4. Клачек П.М. Общая схема и средства моделирования био-производственной системы. // Сб. тр. международной научной конференции посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета. - Калининград: Изд. КГТУ, 2000.С.237-240.

5. Колесников А.В., Клачек П.М. Использование гибридных нейро-нечетких конструкций для когнитивного моделирования агро-экосистем// Сб. "Обработка текста и когнитивные технологии. Вып.4"/ Под.ред. Потаповой Р.К., Соловьева В.Д., Полякова В.Н./. - М:

"МИСИС", 2000.С.185-189.

6. Колесников А.В., Клачек П.М. Неоднородное моделирование для интеллектуального управления био-производственной системой// Сб. тр. международной конференции "Интеллектуальные системы и информационные технологии управления ИСИТУ-2000-IS&ITC". - СПб: Изд. СПбГТУ, 2000.С.359-363.

7. Klachek P., Kolesnikov A. Knowledge Integration for Simulation of the 'Prediction of Productivity Agricultural Cultures' Inhomogeneous Task//Pr. Of the 4th Int. Conf. "Mathematical Modeling and Analysis MMA99". Vilnius: The UMI Press, 1999..P. 49.
8. Kolesnikov A., Klachek P. Hybrid model of the Bio-Industrial System// The International Federation of Operational Research Societies Special Conference (SPC8) "Organizational Structures, Management, Simulation of Business Sectors and Systems". - Kaunas: The KUT Press, 1998.P. 90-94.