

УДК 519.876.5

**Методические основы поливариантного расчёта динамических моделей
производственного процесса сельскохозяйственных культур**

Медведев С.А.

Агрофизический научно-исследовательский институт

Аннотация

Типичные прецеденты использования моделей производственного процесса предполагают множественный расчёт модели с различными входными данными, после которого идёт сравнительный анализ результатов в разрезе проварьированных данных. Организация такого расчёта может быть автоматизирована. Одной из основных проблем такой автоматизации является ограничение мерности факторного пространства. Предложено решение этой проблемы, основанное на выделении предопределённых факторов, а также алгоритмы обхода ограничений, которые накладывает это решение.

Ключевые слова: ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, МЕРНОСТЬ ФАКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА, ИНТЕГРАЦИЯ

Введение

Модели производственного процесса позволяют существенно снизить затраты на исследование поведения агроэкосистемы в различных условиях. Типичные прецеденты их использования можно подразделить на две группы:

- разработка и исследование модели;
- применение модели.

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

При разработке и исследовании модели она запускается во время выполнения задач идентификации параметров и верификации [1]. Применяется модель для решения задач оптимизации агротехнологий [2], проактивного управления агротехническим воздействиями, в том числе с учётом неоднородности почвенного покрова [3]. Все эти задачи подразумевают множественный расчёт модели с проварьированными входными данными и последующий анализ результатов в разрезе того, что было проварьировано. При этом, как правило, модели производственного процесса требуют для своей работы большого количества данных, но при решении вышеназванных задач лишь небольшая часть этих данных варьируется. Для увеличения эффективности использования моделей производственного процесса эти процедуры можно автоматизировать. Меры по автоматизации многократного прогона модели с проварьированными входными данными и анализа получившихся результатов мы будем называть *поливариантным расчётом* [4].

Если пользователь работает непосредственно с моделью производственного процесса, то сценарий его действий выглядит примерно так.

1. Ввести исходные данные для модели.
2. Запустить модель на выполнение.
3. Дождаться окончания выполнения модельных расчётов.
4. Сохранить результаты.
5. Повторить действия 1-4 для других прогонов модели.

Очевидно, что при многократном вводе исходных данных пользователь может сделать ошибку, поэтому при автоматизации этой процедуры требуется свести её к максимально простым действиям. Задача облегчается, если модель берёт исходные данные из внешнего хранилища: в этом случае для каждого прогона модели требуется поменять в этом хранилище не весь массив входных данных, а только то, что требуется проварьировать. Кроме того, определённую сложность для пользователя представляет сопоставление наборов исходных данных результатам модельных расчётов при большом количестве прогонов модели. При проведении серьёзных экспериментов количество прогонов модели исчисляется тысячами, и было бы более целесообразным не ждать завершения окончания каждого прогона модели, а автоматически прогнать модель со всеми наборами входных данных. Таким образом, система поливариантного расчёта динамических моделей производственного процесса должна удовлетворять следующим требованиям:

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

- 1) при формировании множества наборов входных данных пользователь не должен вводить повторяющиеся данные многократно;
- 2) после выполнения модельных расчётов результаты должны связываться с наборами входных данных автоматически;
- 3) модельные расчёты должны быть отделены от формирования входных данных и осуществляться в пакетном режиме.

Кроме того, учитывая то, что моделей производственного процесса много, а соображения по поводу поливариантного расчёта являются общими для них всех, желательно, чтобы система поливариантного расчёта могла работать с произвольной моделью производственного процесса. Настоящая работа посвящена методическим аспектам того, как должна быть реализована система поливариантного расчёта, удовлетворяющая указанным требованиям.

Модель как объект факторного эксперимента

Все типичные прецеденты использования моделей производственного процесса являются вычислительными компьютерными экспериментами. По семантике они аналогичны полевым экспериментам, только вместо натурального объекта в вычислительном компьютерном эксперименте используется модель, а вместо внешних воздействий – проварьированные входные данные. Это позволяет использовать для планирования вычислительных компьютерных экспериментов традиционную методологию опытного дела [5]. Но, в отличие от самой агроэкосистемы, вычислительный алгоритм модели, как правило, строго детерминирован, и при поступлении одних и тех же входных данных модель выдаст один и тот же результат. Поэтому для осуществления вычислительных компьютерных экспериментов с повторностями входные данные модели требуется подразделить на контролируемые и неконтролируемые; в качестве факторов выступают контролируемые входные данные, а в качестве повторностей – неконтролируемые.

С алгоритмической точки зрения, любая динамическая модель представляет собой формализованный алгоритм рекуррентного пошагового пересчёта вектора состояния динамических характеристик моделируемого объекта. Формально это может быть записано с помощью эволюционного оператора:

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

$$x(k+1) = f(x(k), w(k), u(k), a); \quad x(0) = x_0, \quad k=0,1,2,\dots, T \quad (1)$$

где:

k – временной шаг модели;

$x(k), x(k+1)$ – вектор переменных состояния модели в два смежных момента времени;

$w(k)$ – вектор неконтролируемых внешних воздействий;

$u(k)$ – вектор контролируемых внешних воздействий;

a – вектор параметров модели;

T – время окончания процесса моделирования.

Расчёт модели представляет собой многократное применение к вектору начального состояния $x(0)$ оператора f с отслеживанием его изменений на каждом шаге. Сущностью конкретной модели является сам алгоритм, заложенный в оператор f , и состав вектора x , описывающего состояние моделируемого объекта. Векторы внешних воздействий и параметры модели относятся к конкретному прогону модели, осуществляемому ради получения конкретных результатов, хотя состав этих данных также определяется самой моделью производственного процесса [6].

Применительно к сельскохозяйственным моделям, как правило, исходный шаг ($k=0$) соответствует моменту посадки, а последний ($k=T$) – моменту сбора урожая. Вектор x может включать в себя такие показатели роста растений, как надземная биомасса, биомасса корней, биомасса генеративных органов, фаза развития, глубина проникновения корней и т.д. Кроме того, некоторые параметры вектора состояния модели могут отражать реакцию агроэкосистемы на технологические воздействия. Это может быть полезно в задачах исследования экологической стабильности в масштабах агроландшафта, в которых, помимо самого растения, моделируемым объектом является окружающая среда. В качестве вектора контролируемых внешних воздействий могут выступать сведения об используемых агротехнологиях: внесение удобрений, поливы, подкормки и пр. Неконтролируемые условия – это природные факторы жизни растений, в первую очередь, погода. Параметры модели – это данные, которые не зависят от текущего временного шага модели. Прежде всего, это физические свойства почвы (неизменные в пределах модельного отрезка времени), географическое положение местности (в частности, широта, используемая для расчёта

**Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»**

количества солнечной радиации), и физиологические характеристики растения. Большинство моделей производственного процесса имеют суточный шаг.

Хотя при выполнении вычислительного компьютерного эксперимента вектор неконтролируемых внешних воздействий играет роль повторностей, с точки зрения самого расчётного алгоритма модели он выступает в роли такого же фактора, как и вектор контролируемых внешних воздействий. То же самое можно сказать об исходном значении переменных вектора состояния и параметрах модели. Это позволяет выделить все входные данные динамической модели в одну сущность, имеющую свою строгую интерпретацию в структуре факторного эксперимента.

Очевидно, что результат работы любой динамической модели может быть описан в виде двумерной таблицы, каждая строка которой соответствует временному шагу модели, а каждая колонка – одному из параметров вектора переменных состояния модели. В качестве примера такой таблицы приводим таблицу 1.

Таблица 1. Пример результатов работы динамической модели

k	x_0	x_1	x_2	x_3	...	x_n
0	$x_0(0)$	$x_1(0)$	$x_2(0)$	$x_3(0)$		$x_n(0)$
1	$x_0(1)$	$x_1(1)$	$x_2(1)$	$x_3(1)$		$x_n(1)$
...						
T	$x_0(T)$	$x_1(T)$	$x_2(T)$	$x_3(T)$		$x_n(T)$

Факторный эксперимент может быть представлен как конечное множество точек в факторном пространстве, координаты которого соответствуют факторам, варьируемым в рамках эксперимента. При проведении n-факторного эксперимента он описывается набором точек в n-мерном пространстве. Каждая точка имеет n координат и может быть описана в виде вектора $p(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, где p – точка факторного пространства, i – фактор, x_i – уровень (градация) i -го фактора, n – количество факторов в эксперименте.

Пусть в эксперименте участвуют n факторов, которые мы обозначим через x_1, x_2, \dots, x_n , а фактор под номером i имеет l_i уровней (градаций). Тогда эксперимент определен в $N = l_1 \times l_2 \times \dots \times l_n$ точках факторного пространства. Иначе говоря, в процессе эксперимента

перебираются все сочетания всех градаций факторов, и мы имеем *полный факторный эксперимент (ПФЭ)*. Например, эксперимент, в котором имеется 5 факторов, каждый из которых имеет 2 градации, можно представить в виде 2^5 точек [7]. Применительно к динамическим моделям, точка в факторном пространстве соответствует описанию полного набора всех входных данных для одного прогона модели и называется *сценарием*. При этом в качестве факторов могут выступать любые входные данные, например, в принципе, можно варьировать один параметр погоды в один из дней вегетации.

Ограничение мерности факторного пространства

Поскольку при построении полного факторного эксперимента производится декартово перемножение множеств уровней всех факторов, а параметров, которые могут варьироваться в качестве независимых переменных, в любой типичной модели сложной системы очень много, количество сценариев может получиться слишком большим для того, чтобы можно было провести эксперимент, имея в распоряжении ограниченные аппаратные и временные ресурсы. В связи с этим встаёт задача каким-то образом ограничить мерность факторного пространства [8] средствами системы поливариантного расчёта. Наиболее очевидный путь решения этой задачи предполагает использование того, что в реальных экспериментах варьируются не все входные данные, а только часть.

Однако в реальности этого недостаточно. В качестве примера рассмотрим то, что в моделях производственного процесса в качестве вектора неконтролируемых воздействий, как правило, используются суточные погодные метеоданные. В то время как вегетационный сезон обычно длится около полугода, а метеоданные, как правило, содержат около 5-6 показателей, нетрудно подсчитать, что в среднем такой объём входных данных соответствует приблизительно полутора тысячам переменных. Если варьировать каждую из них для всех лет, моделируемых в вычислительном эксперименте, получится огромное количество сценариев, подавляющее большинство которых не имеет практического смысла. Гораздо более адекватной реальности выглядит идея рассматривать набор суточных погодных метеоданных для одного года как единое целое, т.е. как градацию одного качественного фактора. Ту же самую процедуру можно проделать и с другими факторами жизни растений, например, рассматривая почвенный индивидуум как единое целое – градацию фактора «почва». При таком подходе все

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

факторы становятся качественными, а любая разница в данных, описывающих один объект предметной области, становится отдельной градацией фактора, соответствующего этому объекту. Для проведения факторных экспериментов с такими параметрами необходимо для каждой градации этих факторов создавать копии заполненных наборов данных, отличающихся только варьируемыми параметрами. С другой стороны, часть параметров является по своей природе количественными (например, дозы внесения удобрений), и помещение их внутрь качественных факторов лишит возможности при анализе учитывать отношения мерности и порядка для этих параметров. Это, в свою очередь, сделает невозможным проведение регрессионного анализа. Для разрешения этого противоречия поверх такой организации данных потребуется добавить специализированные инструменты.

Если рассматривать структуру векторов внешних воздействий, то их, как и результаты, можно описать в виде таблиц, одной из колонок в которых будет временной шаг модели. Примерами таких таблиц могут служить суточные погодные метеоданные или расписание внекорневых подкормок. При этом по семантике к одному и тому же фактору могут относиться входные данные, которые в эволюционном операторе могут быть как векторами внешних воздействий, так и параметрами. Например, и параметры, определяющие характеристики автоматического режима орошения или осуществления азотных подкормок, и декларативные даты и нормы технологических воздействий (например, внесения удобрений), скорее всего, будут относиться к одному и тому же фактору – технологии возделывания. Кроме того, многие параметры модели также могут иметь сложную структуру, не представимую в виде набора скалярных значений. Например, физические параметры почвы, как правило, имеет смысл рассматривать не для всей почвы в целом, а отдельно для каждого горизонта. Параметры, характеризующие интегральные свойства почвы или её поверхность, напротив, являются скалярными. Таким образом, большая часть входных параметров может быть структурирована в виде наборов таблиц и констант, привязанных к определённым факторам. Поскольку любая регулярная структура данных может быть представлена в реляционной форме [9], набор таблиц, привязанных к одной градации фактора, может быть использован для хранения входных данных для модели вне зависимости от состава данных.

Для унификации работы с таблицами и скалярными параметрами можно предложить следующее решение. Каждому фактору соответствует таблица, которая содержит описание

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

градации фактора («*корневая таблица*»), и набор связанных таблиц, в которых хранятся данные, относящиеся к выбранной градации этого фактора («*дочерние таблицы*»). Если данные в дочерней таблице являются скалярными, то такая таблица должна быть связана с корневой отношением «один к одному»; если данные в дочерней таблице сами являются табличными, то такая дочерняя таблица должна быть связана с корневой отношением «один ко многим». Множество записей дочерней таблицы, связанных этим отношением с одной градацией предопределённого фактора, по семантике эквивалентно одной таблице, описывающей определённую сущность из входных данных модели (рис. 1).

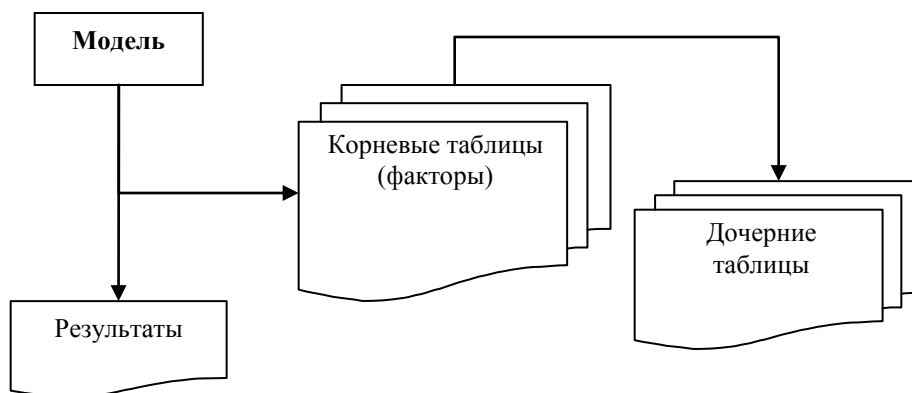


Рис. 1. Структура данных для отдельной модели производственного процесса
в системе поливариантного расчёта

В этом решении ограничение мерности факторного пространства осуществляется за счёт того, что огромное количество возможных переменных сгруппировано в небольшое количество факторов, соответствующих понятиям предметной области моделирования. Для того, чтобы была возможность анализировать данные в разрезе проварьированных факторов с учётом их семантики, необходимо задать жёстко фиксированный набор этих факторов на уровне системы поливариантного анализа. В моделировании производственного процесса сельскохозяйственных культур можно выделить следующие факторы: «Почва», «Культура», «Местность», «Технологии возделывания», «Погода», «Атмосфера» и «Исходное состояние». Это позволит системе, абстрагированной от конкретной модели производственного процесса,

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

использовать информацию о том, какие данные участвуют в анализе. Например, при проактивном управлении агротехнологиями можно использовать фактор «Погода» в специализированных алгоритмах генерации суточных погодных метеоданных, а для интеграции с ГИС применять специализированные алгоритмы, работающие с предопределённым фактором «Почва».

Помимо входных и выходных данных модельных расчётов, система поливариантного расчёта должна содержать сущности, описывающие сами вычислительные эксперименты, в первую очередь, эксперимент и сценарий. Очевидно, что набор результатов одного прогона модели относится к конкретному сценарию, который, в свою очередь, представляет собой кортеж ссылок на градации всех факторов. Кроме того, сценарии должны объединяться в наборы, соответствующие проводимым вычислительным экспериментам, которые мы будем называть *проектами*. Все сценарии, относящиеся к одному проекту, считаются в пакетном режиме совместно и автоматизированно; результаты прогонов модели во всех сценариях одного проекта после завершения расчётов обрабатываются совместно. Кроме этого, задачи идентификации требуют наличия хранилища данных измерений, чтобы сравнивать с ними результаты работы модели.

Важно, что сценарий должен включать в себя не полные наборы данных, требуемых для расчётов, а только ссылки на градации факторов. Дело в том, что в реальных вычислительных экспериментах варьируются не все предопределённые в системе факторы, а только некоторые из них. В связи с этим большая часть входных данных для работы моделей должна быть одинаковой во всех сценариях каждого проекта. Замена полных наборов входных данных ссылками на них позволяет избежать дублирования информации, приводящего к неоправданному увеличению размера БД. Более того, это позволяет использовать одни и те же данные не только в рамках одного проекта, но и в рамках множества проектов. Например, данные, описывающие физиологию одной и той же сельскохозяйственной культуры, могут быть использованы в большом количестве вычислительных экспериментов с этой культурой.

Для автоматизации статистической обработки результатов тоже требуются специализированные приёмы. Поскольку анализ результатов предполагает количественное сравнение результатов расчётов всех сценариев проекта в разрезе проварьированных

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

факторов, необходимо каждому сценарию сопоставить характеризующее его скалярное значение. Если требуется проанализировать несколько выходных параметров модели, эта задача может быть сведена к многократному выполнению процедуры статистической обработки для каждого из параметров. Но другое измерение таблицы результатов, идентификатор времени, требует более нетривиальных операций для агрегирования данных. Более того, некоторые поля вектора состояния модели, выводимого в качестве результатов её работы, также могут представлять собой сложные структуры данных (например, профиль распределения влаги в почве). Поскольку агрегация таких данных всецело зависит от их семантики, предсказать, какие алгоритмы для этого могут понадобиться, практически невозможно. Вместо того чтобы производить агрегацию таких данных на уровне системы поливариантного расчёта, следует предписать модели делать это самостоятельно, выдавая все поля результатов в скалярном виде; таким образом, этот аспект агрегации исключается введением соответствующего требования к подключаемой модели. Можно предложить несколько способов агрегации значений выходных параметров модели для разных задач:

- величина берётся на определённое значение идентификатора времени; подходит для отслеживания абиотических характеристик моделируемой агроэкосистемы (рис. 2);
- величина берётся на конец расчёта; подходит для урожая;
- обходятся все строки результатов, и вычисляется невязка по измерениям (отклонение модельных результатов от измеренных); подходит для решения задач идентификации и верификации модели [1];
- вычисляется не значение поля, а значение идентификатора времени, для которого значение поля соответствует заданной величине; подходит для анализа сроков наступления фенофаз;
- если одно из полей вектора состояния предназначено для хранения биологического времени, то значение любого другого поля можно брать для сравнения по фиксированному значению биологического времени (вместо идентификатора времени); это позволяет анализировать физиологические процессы в растении.

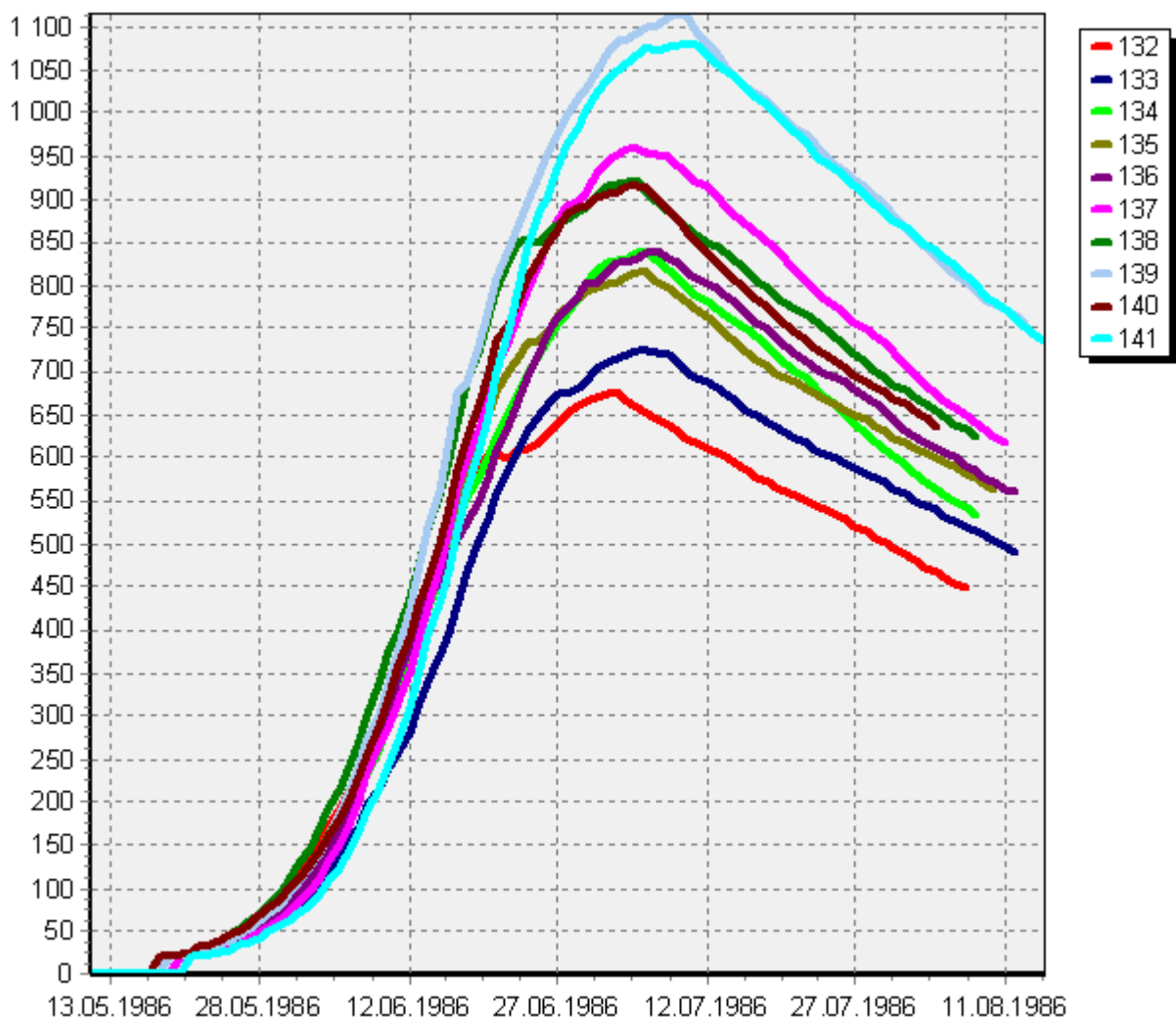


Рис. 2. Сопоставление результатов в разных сценариях по величине на дату

Обеспечение гибкости системы предопределённых факторов

Выше было отмечено, что агрегация параметров модели в предопределённые факторы накладывает ряд ограничений на возможности системы поливариантного расчёта. Основными из этих ограничений являются следующие:

- семантика входных данных подключаемой к системе поливариантного расчёта модели должна быть представима в виде предопределённых факторов или их подмножества; это ограничение не может быть преодолено и диктуется самой поставленной задачей, поэтому специальных инструментов для его преодоления не требует;

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

- при перемножении множеств выбранных градаций predetermined факторов можно получить только полный факторный эксперимент;
- анализ данных возможен только в разрезе predetermined факторов;
- в пространстве факторов нет отношений метрики и порядка.

Рассмотрим механизм получения проекта неполного факторного эксперимента на примере задачи идентификации параметров, которая предполагает, что не все комбинации градаций факторов имеют смысл с точки зрения семантики данных. Например, при идентификации параметров модели реальные полевые опыты, по которым осуществляется контроль, в разные годы могут проводиться на разных полях, с разными агротехнологиями и на разных почвах. Если включить все эти различия в полный факторный эксперимент, в результате получится множество сценариев, большинство которых описывает полевые опыты, которые в реальности не проводились. Такая мерность факторного пространства является избыточной, и для проведения экспериментов её необходимо дополнительно ограничить. Для этого требуется ввести такое понятие, как *сцепление факторов*, которое означает, что в эксперименте каждая из выбранных градаций одного фактора ограничивает выбор градаций другого фактора. В указанном примере погода сцеплена с технологиями возделывания и параметрами почвы. Выбрав год, к которому относится набор суточных погодных метеоданных, мы можем выбрать только те технологии возделывания, которые использовались в полевых опытах в этом году, и только те почвы, на которых проводились эти опыты. Сцепление факторов позволяет рассматривать несколько сцепленных друг с другом факторов как один и, таким образом, является дополнительным способом ограничения мерности факторного пространства.

Ситуация, когда может потребоваться проведение анализа не только в разрезе predetermined факторов, возникает, если в некотором эксперименте проварьировано два параметра, относящихся к одному predetermined фактору системы поливариантного расчёта, но их эффекты требуется рассчитать отдельно. Для этого случая система должна предоставлять возможность создания дополнительных, «виртуальных» факторов, которые позволяют апостериорно сгруппировать сценарии в проекте альтернативным способом. В отличие от predetermined факторов, такие факторы определяются на уровне проекта, а

не всей системы. Они не участвуют в подготовке данных для модельных расчётов, но при анализе результатов должны обрабатываться так же, как и predetermined.

Отношение порядка в факторном пространстве может потребоваться для обеспечения циклических расчётов в севообороте. Для обеспечения этого при выборе градаций фактора во время формирования проекта вычислительного компьютерного эксперимента должна быть возможность задавать порядок факторов и порядок градаций каждого фактора, который учитывается при перемножении множеств. В этом же порядке осуществляется расчёт этих сценариев. При циклических расчётах в севообороте, кроме того, должен быть предусмотрен механизм перенесения некоторых результатов одного прогона модели в исходные данные следующего прогона для обеспечения эмуляции непрерывного развития агроэкосистемы в течение нескольких вегетационных сезонов. Кроме того, некоторые сценарии расчёта в севооборотных проектах следует пометить как «начало севооборота», чтобы можно было в рамках одного проекта сравнивать различные многолетние результаты (рис. 3).

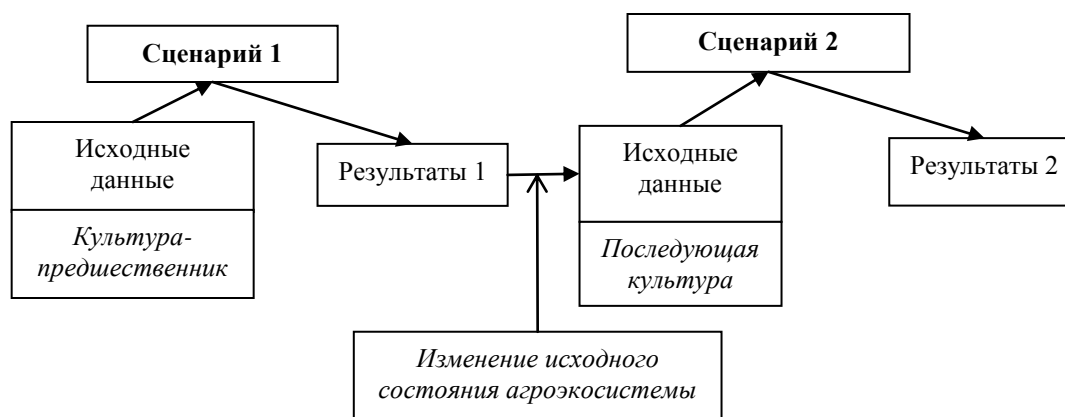


Рис 3. Схема циклических расчётов в севообороте

Отношение метрики может потребоваться для тех экспериментов, которые требуют регрессионного анализа. Для реализации отношения метрики каждому фактору, проварьированному в проекте, нужно сопоставить выражение, указывающее на конкретную ячейку дочерней таблицы, значение которой будет сопоставлено каждой градации этого

фактора в сценариях. Как и в случае с «виртуальными» факторами, эти выражения должны быть привязаны не к модели, подключенной к системе, а к конкретному проекту вычислительного эксперимента.

Совместимость модели и системы поливариантного расчёта

В описанных сценариях работы с моделью производственного процесса система поливариантного расчёта рассматривает её как «чёрный ящик», для которого задан протокол ввода-вывода, а содержательное наполнение может быть любым. Хотя описанная методика построения системы поливариантного расчёта может быть применена к любой динамической модели производственного процесса, следует сделать ряд уточнений. В принципе, гипотетически можно предположить такую систему поливариантного расчёта, которая не накладывает на модель никаких ограничений, но в этом случае настройка такой системы под каждую конкретную модель была бы слишком сложной и трудоёмкой. В связи с этим для построения эффективной системы необходимо наложить ряд ограничений на модели, подключаемые к системе поливариантного расчёта. Эти ограничения можно подразделить на три группы:

- функциональная совместимость с системой поливариантного расчёта;
- семантическая совместимость с системой поливариантного расчёта;
- техническая совместимость с системой поливариантного расчёта.

Функциональная совместимость с системой поливариантного расчёта подразумевает, прежде всего, принципиальную возможность выполнения модели в пакетном (автоматическом) режиме. Это означает, что в ходе работы модель не должна требовать от пользователя никаких действий: система поливариантного расчёта должна сама подготовить для модели входные данные, запустить её на выполнение и после завершения прогона модели сама прочесть результаты. В связи с этим многие старые модели, рассчитанные на единственный расчёт, которые требуют ввода данных через пользовательский интерфейс и выводящие результаты на экран, без доработки подключить невозможно. Ситуация несколько облегчается за счёт того, что, если при разработке модели соблюдались правила дизайна программного обеспечения, а логика отделена от представления, переработка модели

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

для обеспечения принципиальной возможности выполнения в пакетном режиме не является слишком трудоёмкой.

Семантическая совместимость в наибольшей степени связана с конкретными решениями, принятыми при разработке системы поливариантного расчёта. Описанная методика может быть применена только для тех моделей, которые могут быть представлены в виде эволюционного оператора (1). Кроме того, в модели должны поддерживаться именно те факторы, которые предопределены в системе поливариантного расчёта. Хотя все эти ограничения естественным образом следуют из онтологии предметной области, заранее нельзя с уверенностью сказать, что абсолютно любая динамическая модель производственного процесса сельскохозяйственных культур семантически совместима с системой поливариантного расчёта.

Техническая совместимость связана с теми технологиями, которые используются в системе поливариантного расчёта. Модель должна работать в том же окружении, что и система поливариантного расчёта. Например, если система является Windows-приложением, то и модели, подключаемые к ней, должны работать под Windows. Кроме того, если в системе поливариантного расчёта поддерживается параллельный расчёт сценариев, модель должна быть написана так, чтобы исключить одновременный захват общих ресурсов при расчёте различных сценариев.

Поскольку модели производственного процесса могут быть написаны с использованием различных технологий и иметь абсолютно разный формат входных и выходных данных, непосредственное включение модели в систему поливариантного расчёта является недостаточно гибким решением. Вместо этого целесообразно в системе поливариантного расчёта реализовать плагинную архитектуру, реализующую паттерн «адаптер» [10]. Сама система поливариантного расчёта должна содержать интерфейсную сборку, в которой объявлен интерфейс адаптера. Адаптеры конкретных моделей реализуют этот интерфейс и подключаются к системе поливариантного расчёта как плагины. Таким образом, адаптер каждой модели, с одной стороны, взаимодействует с системой поливариантного расчёта и её общим для всех моделей форматом входных и выходных данных, с другой стороны, со своей моделью и её индивидуальным форматом входных и выходных данных, конвертируя одно в другое (рис. 4).

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

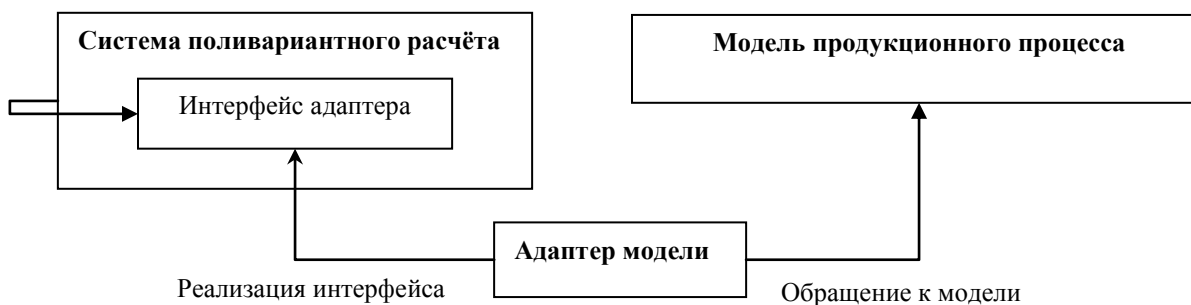


Рис. 4. Взаимодействие модели и системы поливариантного расчёта

Для того, чтобы минимизировать трудоёмкость создания адаптера для каждой модели, необходимо использовать максимально простой и прозрачный формат представления данных в системе поливариантного расчёта. При этом любой прогон модели производственного процесса включает в себя три фазы:

- формирование набора исходных данных для модели производственного процесса из данных, хранящихся в БД системы поливариантного расчёта; адаптер при этом конвертирует данные из формата системы поливариантного расчёта в формат входных данных, специфичный для модели производственного процесса;
- запуск подключенной модели на выполнение со сформированными на предыдущем шаге входными данными; адаптер при этом выполняет действие, необходимое для запуска модели (запуск исполняемого файла, вызов функции в библиотеке, обращение к сервису и т.п.);
- запись результатов прогона модели в БД системы поливариантного расчёта; адаптер при этом конвертирует данные из формата, специфичного для конкретной модели производственного процесса, в формат результатов, используемый системой поливариантного расчёта.

Выводы

Предложенная методика позволяет построить модель данных для системы поливариантного расчёта, предназначенной для автоматизации планирования и проведения многофакторных вычислительных компьютерных экспериментов. Изложенные принципы

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

могут применяться для работы не только с моделями производственного процесса, но и с любыми другими динамическими моделями со своими наборами предопределённых факторов. Вопросы взаимодействия конкретных моделей с такой системой являются отдельным вопросом, освещение которого может составлять предмет отдельной публикации.

Список использованных источников

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М., «Наука». – 1991. – 432 с.
2. Медведев С.А., Полуэктов Р.А., Топаж А.Г. Оптимизация стратегии орошения с использованием методов поливариантного анализа динамики агроэкосистем // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012, № 2. – С. 10-13.
3. Баденко В.Л., Иванов Д.А., Топаж А.Г. Информационное обеспечение агроландшафтных исследований // Информация и космос. – 2014, № 4. – С. 52-55.
4. Полуэктов Р.А., Топаж А.Г., Кобылянский С.Г. Поливариантный анализ динамики агроэкосистем // Вестник РАСХН. – 2006, №6. – С. 16-18.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — 5-е изд., доп. и перераб. – М: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
6. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели производственного процесса сельскохозяйственных культур. Изд-во СПбГУ. – 2006. – 405 с.
7. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. – М.: «Наука». – 1980. – 512 с.
8. Иберла К. Факторный анализ. Пер. с нем. В.М.Ивановой; предисловие А.М.Дуброва. – М.: «Статистика». – 1980. – 398 с.
9. Мокрозуб В.Г. Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах. – М.: Издательский дом «Спектр». – 2011. – 110 с.
10. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. – СПб.: «Питер». – 2005. – 366 с.

Цитирование:

Медведев С.А. Методические основы поливариантного расчёта динамических моделей производственного процесса сельскохозяйственных культур // АгроЭкоИнфо. – 2015, №4. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/4/st_16.doc.