

5. Хворова Л.А., Журавлева В.В., Плинокосова Л.Н., Гриценко А.А. Результаты анализа и компьютерного тестирования блоков радиации и фотосинтеза // Известия АГУ. – 2001. – №1. – С. 61–65.
6. Боярская А.В., Хворова Л.А. Восстановление характеристик теплового режима почв в одномерных и двумерных задачах с границей раздела // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 293–296.
7. Боярская А.В., Хворова Л.А. Определение характеристик теплового режима почв в одномерных и двумерных задачах с границей раздела // Вестник АлтГПУ. – 2015. – № 25. – С. 12–15.
8. Хворова Л.А. Численное решение задачи теплового режима почвы // Сб.: Европейская наука и техника. – 2013. – С. 424–426.
9. Лямкина Ю.Б., Хворова Л.А. Моделирование динамики азота в почве (теоретические аспекты) // Известия АлтГУ. – 2011. – №2. – С. 94–97.
10. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации. Часть 1. Анализ и выделение перечня факторов с оценкой их приоритетности // Известия АлтГУ. – 2015. – №1 (85). – С. 187–191.
11. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации. Часть 2. Анализ подходов к математическому моделированию процесса // Известия АлтГУ. – 2015. – №1 (85). – С. 192–196.
12. Хворова Л.А. Моделирование влияния азотного питания на продукционный процесс посева люцерны: автореф. дисс. на соиск. учен. ст. к.т.н. – Санкт-Петербург: АФИ, 1992.

УДК 004.9

Разработка программного приложения идентификации параметров модели AGROTOOL

А.К. Букасова, И.А. Кунгуров
АлтГУ, г. Барнаул

Прикладные динамические модели продукционного процесса сельскохозяйственных растений способствуют внедрению современных технологий в практику растениеводства. Особенно важной становится их роль в виде интеллектуальной основы компьютерных систем поддержки агротехнологических решений в рамках перспективного развития сельскохозяйственной отрасли – устойчивого и точного земледелия.

Модель продуктивности агроэкосистем AGROTOOL разработана научным коллективом лаборатории математического моделирования агроэкосистем Агрофизического НИИ (г. Санкт-Петербург) [1–3]. При переносе модели в различные почвенно-климатические условия требуется идентифицировать ряд параметров, входящих в модель и характеризующих условия региона и особенности сельскохозяйственной культуры. Параметрическая идентификация динамической модели продуктивности, анализ модели на чувствительность к вариациям входящих в них параметров, адаптация к конкретным почвенно-климатическим условиям являются главными условиями ее применимости [4–6].

Первые работы по адаптации модели к условиям Алтайского Приобья, в плане идентификации параметров отдельных блоков, осуществлялись «вручную». Это выражалось в многократном прогоне модели с различными комбинациями значений параметров и представляло собой достаточно трудоемкую процедуру [7–10]. Поэтому разработка программного приложения по автоматизации процедуры параметрической идентификации модели AGROTOOL актуальна.

Система AGROTOOL представляет собой компьютерную динамическую модель продукционного процесса сельскохозяйственного посева. Основные компоненты комплекса AGROTOOL:

- динамическая модель, реализованная на объектно-ориентированном языке Turbo Pascal в нотации системы Delphi;
- стационарная база данных, реализованная в СУБД Access;
- оперативная база данных, реализованная в системе Excel;
- интерфейс пользователя.

Вызываемая из оболочки модель описывает продукционный процесс полевых культур и производит расчет динамики формирования урожая, начиная с посева и заканчивая уборкой.

Хранилищем всех данных, необходимых как для организации компьютерных экспериментов, так и для оценки адекватности и точности работы модели, является стационарная база данных.

Оперативная база данных формируется из стационарной и содержит необходимые данные полевого опыта для однократного расчета модели.

Процедура настройки параметров модели AGROTOOL включает три этапа:

- настройка параметров водного блока модели;

- определение параметров развития;
- определение параметров продуктивности посева.

1. Блок динамики почвенной влаги

За основу моделирования влагопереноса в почве принято уравнение Ричардса (1):

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k^w(P) \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} - 1 \right) - f(x,t), \quad (1)$$

где t – время; x – пространственная координата; θ – объемная влажность почвы; P – капиллярно-сорбционный потенциал почвенной влаги; $f(x,t)$ – функция стока; $k^w(P)$ – функция влагопроводности почвы:

$$k^w(P_s) = Kf \cdot (-P_s)^C,$$

Kf – коэффициент фильтрации, см/сут; C – эмпирический параметр.

Коэффициент фильтрации Kf и показатель степени C определяются в процессе идентификации, исходя из условий минимизации функции:

$$V(Kf, C) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} (\theta_{soil}(i, j) - \theta_{real}(i, j))^2 \rightarrow \min_{Kf, C \in P}, \quad (2)$$

$\theta_{real}(i, j)$ – фактические значения влагозапаса, $\theta_{soil}(i, j)$ – расчетные значения, i – номер года, m – общее число лет, за которые производится компьютерный эксперимент, j – число фактических замеров влагозапаса в почве в течение m лет.

2. Блок фенологического развития

Задачами этого блока являются: расчет так называемого «физиологического времени» и сроков наступления фенологических фаз. При идентификации пороговых значений определяется минимальное расхождение между расчетными и фактическими датами наступления фенофаз [10].

3. Блок темпов развития растений и величины урожая

Результатом окончательной идентификации параметров модели является величина урожайности культуры, которая зависит от трех настраиваемых параметров. Оптимальные значения параметров определялись по минимальному расхождению между расчетными и фактическими величинами урожайности яровой пшеницы.

Для разработки программного приложения был выбран инструментарий, сходный с тем, что лежит в основе разработки имитационно-моделирующего комплекса AGROTOOL, а именно программный продукт Borland Delphi 7 [1] и подключаемый к нему Bold.

Основной проблемой при реализации поставленной задачи стала разработка программного компонента, подключающего модули AGROTOOL и выполняющего многократные запуски модели с различными входными параметрами в автоматическом контролируемом пакетном режиме. Программа должна автоматически формировать наборы сценариев, в результате выполнения которых, на основе анализа данных возможно провести идентификацию параметров.

Фактическая реализация процедуры идентификации разделилась на реализацию трех событий:

- установка идентифицируемых параметров;
- запуск модели на выполнение;
- сбор и обработка выходных данных.

Схема работы приложения представлена на рисунке 1.

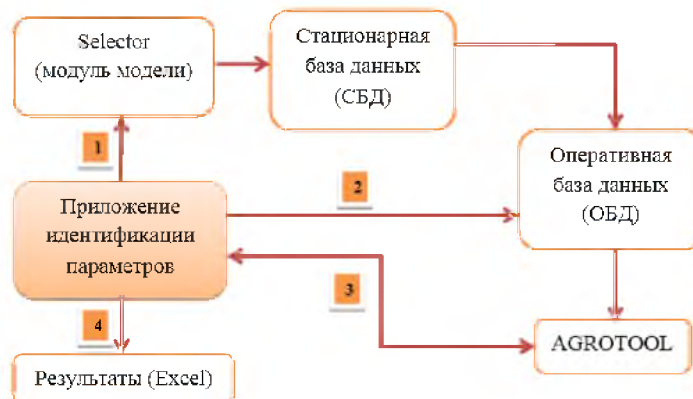


Рисунок 1– Схема работы приложения

Для осуществления формирования нужного сценария был подключен и частично переписан модуль модели, формирующий общий сценарий. При изменении стандартного графического интер-

фейса была добавлена возможность выбора типа идентификационного параметра и тонкой настройки каждого из параметров, позволяющей увеличить точность идентификации.

После задания множества сценариев запускается функция, вносящая изменение в динамическую базу данных.

Для удобства в программе был реализован индикатор процесса выполнения сценария. На каждом этапе выполнения модель отражает состояние готовности (рисунок 2).



Рисунок 2 – Индикатор состояния

После завершения очередного запуска модели происходит анализ выходных данных в соответствии с выбранным сценарием. При идентификации коэффициента фильтрации анализируется невязка влажности почвы, при идентификации биологических порогов – считается ошибка в датах наступления фенофаз растений, при идентификации параметров биологической продуктивности – вычисляются расхождения между фактической и расчетной урожайностью.

После анализа программа возвращается к первому событию, и в автоматическом режиме формирует следующий сценарий с новыми идентификационными параметрами.

В модели продукционного процесса AGROTOOL для яровой пшеницы фиксируются следующие фенологические фазы: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость, полная спелость.

При идентификации биологических порогов определялось минимальное расхождение между расчетными и фактическими датами наступления фенофаз. Расхождения составили от ± 1 до ± 2 дней.

Библиографический список

1. Медведев С.А. Разработка и применение системы поливариантного анализа динамических моделей продукционного процесса культурных растений: дис. на соиск.уч.ст. к.с.-х.н. – СПб: АФИ, 2014. – 161 с.
2. Полуэктов Р.А., Топаж А.Г., Бакаленко Б.И. Информационное обеспечение модели. – СПб: АФИ, 2007. – 34 с.
3. Хворова Л.А., Гавриловская Н.В. Адаптивная идентификация структуры динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных растений // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – №1/2. – С. 139–144.
4. Немчикова К.А., Хворова Л.А. Решение задачи параметрической идентификации динамических моделей продуктивности агроэкосистем // МАК-2014 : сб. трудов XVII регион. конф. по математике. – Барнаул, 2014. – С. 126–133.
5. Хворова Л.А. Оптимизация процесса структурно-параметрической идентификации моделей продуктивности агроэкосистем // Известия Алтайского государственного университета. – 2012. – № 1-1. – С.171–175.
6. Немчикова К.А., Хворова Л.А. Идентифицируемость модели AGROTOOL: анализ результатов, проблемы, выводы // Математические модели в теоретической экологии и земледелии : матер. междунар. семинара. – СПб, 14–16 окт. 2014. – С. 16–19.
7. Хворова Л.А., Немчикова К.А., Ломиворотов Д.П. Поиск глобального минимума в задачах параметрической идентификации // Известия АлтГУ. – Барнаул, 2014. – № 1/2 (81). – С. 130–134.
8. Немчикова К.А., Хворова Л.А. Адаптация модели продуктивности сельскохозяйственных культур AGROTOOL к условиям Алтайского Приобья // Информация и образование: границы коммуникаций. – 2014. – № 6(14). – С. 158–162.
9. Хворова Л.А. Адаптация моделей продуктивности сельскохозяйственных культур к условиям Западной Сибири // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2013. – № 2(15). – С. 24–27.
10. Хворова Л.А. Идентификация параметров модели фенологического развития зерновых культур к условиям Алтайского края // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2010. – Т. 17. – № 3. – С. 470–472.