

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ТЕОРИИ ИГР ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АГРОПРОЦЕССАМИ

Аннотация. в статье рассмотрены основные этапы разработки системы поддержки принятия решений, предназначенной для оптимального управления агропроцессами. Целью управления является одновременное достижение устойчивой урожайности, высокой рентабельности производства сельскохозяйственных культур и сохранение плодородия почвы. Предложена методика применения математического аппарата теории игр для повышения качества управления состоянием агроэкосистемы.

Ключевые слова: принятие решений, управление, агропроцессы, теория игр.

Важнейшей задачей рационального управления состоянием агроэкосистем является принятие решений по выбору значений антропогенных факторов земледелия (удобрения, обработка почвы) с целью достижения показателей эффективности (урожайности культур, рентабельности сельскохозяйственного производства, качества продукции, плодородия почвы). Анализ литературы [1,2,3,4] показывает, что существующие модели агропроцессов (балансовые модели, регрессионные модели, имитационные модели) имеют частный узконаправленный характер.

Это проявляется в том, что экономические, агрономические и экологические задачи решаются отдельно, без учета их взаимосвязи в рамках единого технологического процесса. Кроме того, фактор погодных условий учитывается недостаточно полно. Как правило, рекомендации по управлению технологическими процессами в земледелии разрабатываются исходя из средних типовых погодных условий. Потребности практики определяют необходимость одновременного достижения устойчивой урожайности культур севооборота при различных погодных условиях, высокой рентабельности сельскохозяйственного производства и сохранения плодородия почвы. Вышеприведенные рассуждения определяют необходимость разработки комплексных моделей, включающих следующие элементы:

1) базы данных урожайности культур, плодородия почвы, погодных условий;

© Тезик К.А., 2009

2) регрессионные модели урожайности культур и плодородия почвы;

3) экономико-математические модели рентабельности сельскохозяйственного производства;

4) имитационные модели, описывающие чередование культур севооборота и погодные условия.

На Льговской опытно-селекционной станции проводились полевые опыты, изучающие влияние вносимых удобрений на урожайность культур севооборота и содержание гумуса в почве.

Для систематизации данных полевых опытов, а также их обработки с целью получения математических моделей представляем данную информацию в виде баз данных на ЭВМ.

В среде СУБД Visual FoxPro 9.0 было сформировано три базы данных.

База данных POGODA включает в себя информацию о погодных условиях в течении 65 лет на территории проведения полевых опытов.

База данных AGRONOM содержит информацию об уровне урожайности культур в трех повторностях при различных вариантах внесения минеральных и органических удобрений и различных погодных условиях.

База данных EKOLOG включает в себя информацию об уровне содержания гумуса на начала ротаций при различных вариантах внесения минеральных и органических удобрений.

Также разработана программа, предназначенная для обработки баз данных POGODA, AGRONOM, EKOLOG. Она включает в себя модули выбора базы данных, ввода, просмотра и редактирования информации, вывода данных на печать, расчета гидротермического коэффициента (ГТК) и средней урожайности культур при определенных вариантах погодных условий и вносимых удобрений.

Результаты первичного анализа и систематизации исходных данных многолетних полевых опытов позволяют перейти к разработке регрессионных моделей зависимости урожайности культур от удобрений и погодных условий, а также регрессионных моделей зависимости содержания гумуса от вносимых удобрений. С этой целью разработан программный модуль, позволяющий формировать планы активных экспериментов по заданным схемам и информации содержа-

щейся в базах данных.

Рассмотрим основные элементы разработки комплексной модели агроэкосистемы, предназначенной для прогнозирования урожайности, рентабельности производства сельскохозяйственных культур при условии сохранения плодородия почвы.

С помощью критерия Неймана-Пирсона доказано, что случайная величина ГТК может быть описана нормальным законом распределения, так как расчетное значение λ^2 при этом оказалось меньше предельно допустимого теоретического $\lambda^2_{пр}$ при 5 % уровне значимости. Определены параметры законов распределения ГТК для различных культур (например для клевера и сахарной свеклы математическое ожидание равно 1,35, среднее квадратическое отклонение равно 0,5).

На основании исходных данных полевых опытов разработаны регрессионные модели зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от количества вносимых минеральных и органических удобрений, а также погодных условий.

Для примера приведем модель урожайности сахарной свеклы, выполненную по активному полнофакторному плану эксперимента $3 \times 3 \times 2$:

$$Y_1 = 34,32 \cdot X_1 + 59,88 \cdot X_2 + 23,27 \cdot X_3 + 21,52 \cdot X_{12} - 24,82 \cdot X_{22} - 2,52 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,03 \cdot X_1 \cdot X_3 - 12,79 \cdot X_2 \cdot X_3 + 333,88 \quad (1)$$

Здесь Y_1 – урожайность сахарной свеклы (ц/га), X_1 – фактор погодных условий, выраженный через гидротермический коэффициент за вегетационные периоды культур, X_2 , X_3 – факторы минеральных и органических удобрений (в дозах). Три уровня по фактору X_1 соответствуют трем типам погодных условий (жаркая, средняя, холодная погода), по фактору X_2 – 0, 1, 2 дозам минеральных удобрений, X_3 – 0,1 дозам органических удобрений. Одна доза удобрений означает внесение 22 кг д. в. азота, 15 кг д. в. фосфора, 26 кг д. в. калия, 4 т навоза на 1 га в среднем по культурам.

Для оценки плодородия почвы разработана регрессионная модель зависимости изменения содержания гумуса в почве от количества вносимых удобрений.

$$Y_{гум.} = 0,127 \cdot X_2 + 0,396 \cdot X_3 - 0,9 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,622 \quad (2)$$

Здесь $Y_{гум.}$ – изменение содержания гумуса в почве за период ротации (10 лет).

Для оценки экономической эффективности системы разработаны математические модели рентабельности производства культур севооборота.

Например, для озимой пшеницы модель рентабельности имеет вид:

$$R_2 = \left[\frac{C_{ур2} \cdot Y_2}{C_{62} + C_{y6.2} \cdot (Y_2 - Y_{62}) + C'_2} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (3)$$

где R_2 - рентабельность производства озимой пшеницы; $C_{ур2}$ - цена реализации 1ц урожая; Y_2, Y_{62} - урожайность озимой пшеницы при рассматриваемом варианте внесения удобрений и при варианте абсолютный контроль (без удобрений); C_{62} - материально-денежные затраты при варианте абсолютный контроль; $C/2$ - материально-денежные затраты, связанные с приобретением, погрузкой, перевозкой, внесением удобрений.

На основе объединения результатов ранее проведенных исследований разработан имитационный алгоритм, описывающий функционирование агроэкосистемы во времени. Он реализован в виде программы на ЭВМ в среде Delphi. Алгоритм учитывает порядок чередования культур в севообороте, законы распределения случайной величины ГТК, характеризующей погодные условия, а также включает в себя аналитические модели урожайности и рентабельности сельскохозяйственных культур. В основу разработки имитационного алгоритма положен подход, заключающийся в определении последовательных состояний системы через некоторые интервалы времени Δt , где $\Delta t=1$ год.

На вход моделирующего алгоритма поступает следующая информация: экономические данные, диапазоны урожайности сельскохозяйственных культур, варианты вносимых минеральных и органических удобрений. На выходе алгоритма рассчитываются следующие величины:

- средние урожайности культур севооборота;
- процентное соотношение урожаев, попавших в заданный диапазон, выше и ниже заданного диапазона;
- средние рентабельности производства культур севооборота.

На основании разработанных методов, алгоритмов и моделей предлагаем структурную схему системы поддержки принятия реше-

ний (СППР) для управления состоянием агроэкосистемы (рис 1), позволяющую рационализировать процесс внесения удобрений. Основу предлагаемой СППР составляет алгоритм имитационной модели агроэкосистемы.

СППР работает в следующем режиме.

1. Пользователь (агроном, фермер) вводит в диалоговом режиме в ЭВМ исходные данные, поступающие на вход алгоритма имитационной модели (экономические параметры, диапазоны урожайности культур, которые выбираются исходя из критериев принятия решений, а также варианты вносимых удобрений, стабилизирующие гумус).

2. СППР реализует алгоритм имитационной модели агроэкосистемы и выдает пользователю результаты прогнозов агроэкономической эффективности системы.

3. На основании результатов прогноза пользователь принимает решения по определению количества вносимых удобрений.

1. Достижение максимальной урожайности одной из культур севооборота при ограничениях на устойчивую урожайность других культур, рентабельность сельскохозяйственного производства и сохранение гумуса в почве.

2. Достижение максимальной рентабельности сельскохозяйственного производства при ограничениях на устойчивую урожайность культур севооборота и сохранение гумуса в почве.

3. Минимальное внесение минеральных удобрений, обеспечивающее наименьшее поступление в почву токсичных веществ при ограничениях на агроэкономическую эффективность системы и сохранение гумуса в почве.

4. Максимальный рост гумуса за счет внесения органических удобрений при условии исключения минеральных удобрений.

В первых двух задачах рассматриваются вопросы рационального земледелия, и одновременно с этим учитываются требования по сохранению плодородия почвы. Третья и четвертая задача соответствуют той ситуации, когда в результате неправильной эксплуатации земель произошло загрязнение почвы токсичными веществами, снизилось содержание гумуса и на первом месте стоят цели восстановления плодородия почвы и управления в области охраны окружающей среды.

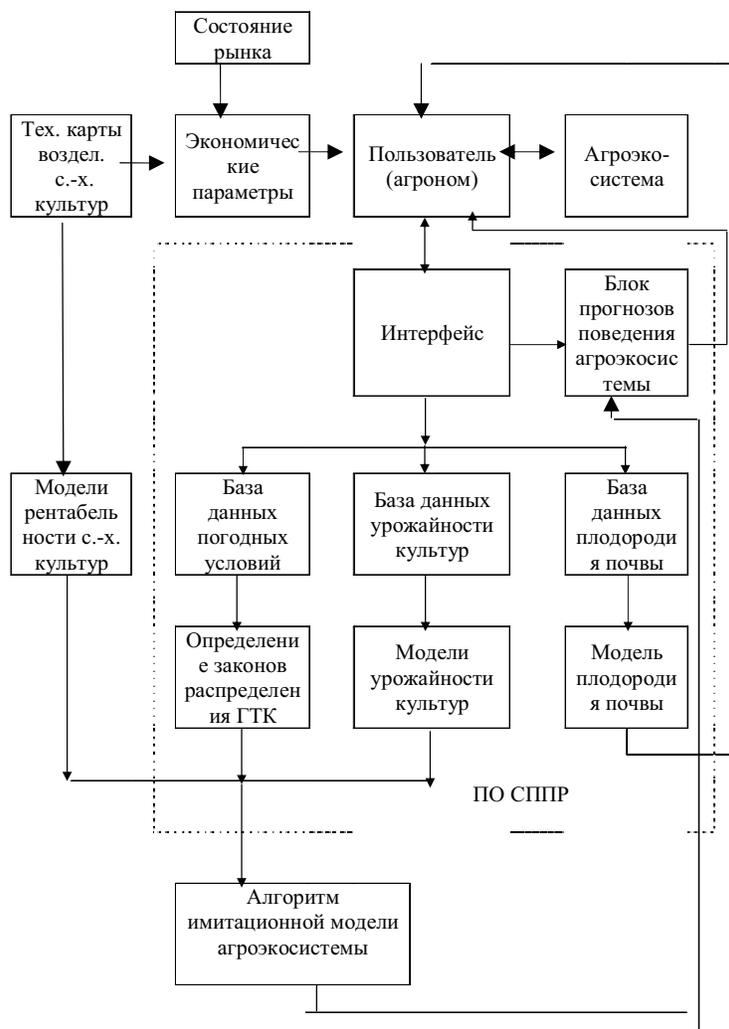


Рисунок 1 – Структурная схема СПДР для управления состоянием агроэко-системы СПДР позволяет решать следующие основные типы задач управления состоянием агроэко-системы.

Рекомендации по рациональному управлению состоянием агроэко-системы для различных вариантов оптимизационных задач имеют вид.

Для достижения максимальной экономической эффективности сельскохозяйственного производства при устойчивой урожайности сахарной свеклы выше 300 ц/га, зерновых выше 32 ц/га требуется внесение 1,6 дозы минеральных удобрений, 1,66 дозы органических удобрений. При этом достигается средняя по всем культурам рентабельность производства, равная 145,6%.

Для достижения максимальной урожайности сахарной свеклы (411ц/га) при устойчивой урожайности зерновых культур выше 32 ц/га и средней по всем культурам рентабельности выше 75 % требу-

ется внесение 2 дозы минеральных и 1,7 органических удобрений.

Для достижения максимальной урожайности озимой пшеницы (41,5 ц/га) и озимой ржи (41 ц/га) при устойчивой урожайности сахарной свеклы выше 300 ц/га и средней по всем культурам рентабельности выше 75% требуется внесение 2,3 дозы минеральных и 1,75 дозы органических удобрений.

Для достижения максимального роста гумуса (0,17% за ротацию) можно рекомендовать внесение двух доз органических удобрений.

Также была рассмотрена задача оптимального управления состоянием агроэкосистемы в целях охраны окружающей среды. В монографии [5] отмечено, что вместе с минеральными удобрениями в почву и сельскохозяйственную продукцию поступают тяжелые металлы (свинец, цинк, кадмий), нитраты, хлор. Поэтому с точки зрения альтернативного экологического земледелия представляет интерес следующая задача: минимальное внесение минеральных удобрений, обеспечивающее устойчивую урожайность культур. Для решения данной оптимизационной задачи можно рекомендовать внесение 1,3 дозы минеральных и 1,637 дозы органических удобрений. При этом достигается устойчивая урожайность зерновых культур выше 32 ц/га, а сахарной свеклы выше 300 ц/га.

Для более точного расчета количества вносимых удобрений в условиях стохастической неопределенности погодных условий можно рекомендовать совместное использование модели агроэкосистемы и математического аппарата теории игр с природой. Сущность данного методического подхода заключается в следующей последовательности действий.

1. Провести долгосрочное прогнозирование агроэкосистемы при нескольких, например, пяти-шести вариантах погодных условий.

2. Принять рациональные решения по управлению состоянием для каждого варианта погоды отдельно.

3. Рассчитать матрицу рисков. В качестве рисков принимаем разницу между максимальной урожайностью, рентабельностью в случае, если стратегия управления внесением удобрений и вариант погодных условий соответствуют друг другу и урожайностью, рентабельностью при отсутствии этого соответствия. Если заданы ограничения по устойчивой урожайности, минимальной допустимой рентабельности, то за риск мы принимаем разницу между допустимым ог-

раничением и получившейся в результате прогноза урожайностью, рентабельностью при отсутствии соответствия.

4. Выбрать наилучшую на рассматриваемом множестве вариантов погодных условий стратегию управления состоянием агроэкосистемы. При этом следует руководствоваться критерием минимаксного риска Сэвиджа [6]. Этот критерий рекомендует в условиях стохастической неопределенности выбирать ту стратегию управления, при которой величина максимального риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации.

Выбор данного критерия вытекает из природы самой задачи. Агроном, фермер в первую очередь заинтересован избежать высоких рисков при получении устойчивой урожайности культур независимо от погодных условий.

Рассмотрим результаты решения задачи достижения максимальной урожайности озимой ржи, при двух сценариях погодных условий, полученных по заданному закону распределения гидротермического коэффициента.

При первом сценарии погодных условий мы получили следующее оптимальное решение: внесение минеральных удобрений – 2,3 дозы, органических – 1,75 дозы, а при втором сценарии внесение минеральных удобрений – 1,8 дозы, органических 1,68 дозы. Матрица рисков имеет вид:

Таблица

Матрица рисков

	П1	П2
A1	0	Рентабельность озимой ржи ниже минимального заданного уровня на 3,4%
A2	Недобор 0,5ц урожая озимой ржи	0

Здесь A1, A2 – варианты вносимых удобрений, П1 и П2 – варианты сценариев погодных условий.

При внесении 2,3 дозы минеральных удобрений и 1,75 дозы органических удобрений мы рискуем получить рентабельность озимой ржи 71,6%, что на 3,4% ниже минимального заданного уровня.

При внесении 1,8 дозы минеральных удобрений и 1,68 дозы органических удобрений имеется риск недобрать 0,5ц озимой ржи, по-

лучив вместо 41ц/га урожай, равный 40,5 ц/га.

Окончательное решение по выбору варианта вносимых удобрений принимает агроном, фермер, исходя из матрицы рисков и приоритетности экономического критерия или критерия биопродуктивности.

Предложенный методический подход к управлению состоянием агроэкосистемы позволяет учесть несколько вариантов погодных условий и этим избежать высоких рисков недобора урожая, а также недостаточно высокой рентабельности сельскохозяйственных культур.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана система поддержки принятия решений, предназначенная для рационального управления агропроцессами. Предложена методика комплексного применения математической модели агроэкосистемы и теории игр с природой. Она учитывает стохастическую неопределенность погодных условий и повышает точность принятия решений по определению количества вносимых удобрений в севообороте культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии.- М.: Агропромиздат, 1990 - 303 с.
2. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические основы программирования урожаяев. - Л.: Гидрометеиздат, 1980.-320 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта.- М.: Агропромиздат, 1985.-351 с.
4. Державин Л.М., Рубанов И.А. Вид и анализ производственной функции «урожай-удобрение»//Агрохимия.1975.-№4.-С.124-130.
5. Черников В. А., Алексахин Р. М., Голубев А. В. Агроэкология.- М.: Колос, 2000, 536 с.
6. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. - 552 с.