

УДК 631.6: 631.115

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

**Н.К. Вахонин**, кандидат технических наук  
Институт мелиорации

**Ключевые слова:** сельскохозяйственное использование, мелиорированные земли, оптимизация, цели, доходы, затраты, альтернативы, севообороты, адаптивное земледелие

### **Введение**

Переход на рыночные условия и связанная с этим смена целей и критериев ставит перед сельскохозяйственным растениеводством сложнейшую задачу переоценки (пересчета) оптимальности буквально всех прежних технических решений, технологий, севооборотов и т.д. на соответствие новым целям. Наиболее остра эта проблема для мелиорированных земель, так как оптимизация сельскохозяйственного использования тесно зависит и, соответственно, должна осуществляться во взаимосвязке с оптимизацией реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем, т.е. в рамках единой задачи оптимизации мелиоративного сельскохозяйственного объекта. Очевидно, что при отдельной оптимизации сельхозиспользования она должна осуществляться для конкретного зафиксированного варианта состояния мелиоративной системы и её эксплуатации.

В связи с вышеизложенным разработка **систем принятия решений** для сельскохозяйственного использования, эксплуатации, реконструкции, включающих **оптимизационно-имитационные экономико-математические модели** для выбора оптимальных вариантов, начиная с отдельного хозяйства и до отрасли в целом, и **автоматизированную структуру их информационного обеспечения**, по результатам мониторинга является в настоящее время первоочередным приоритетом повышения эффективности мелиорации.

Сельскохозяйственный, а тем более мелиорированный сельскохозяйственный объект является чрезвычайно сложной для принятия оптимизационных решений системой. Выделение и раскрытие конкретных причин, образующих эту сложность, оценка возможности их упрощения и учета в модели принятия решений, т.е. переход от простой фиксации сложности проблемы оптимизации к её структурированию с учетом взаимосвязи всех составляющих компонентов является основополагающей задачей системного анализа проблемы оптимизации сельхозиспользования земель.

Недостаточная методологическая проработанность вопросов содержательной постановки задачи оптимизации, использование неадекватного вычислительного аппарата могут приводить к получению различными авторами диаметрально различающихся "оптимальных" вариантов сельхозиспользования, что может дискредитировать само понятие оптимизации, относящееся в действительности к строгим математическим методам.

Осуществляемое в настоящее время в хозяйствах принятие решений по сельскохозяйственному использованию, как правило, в значительной степени основывается на экспертных соображениях, базирующихся на опыте, "здравом смысле", нормативных ограничениях и учете некоторых балансовых соотношений. Приближенность экспертных решений к действительному оптимуму невозможно оценить, хотя очевидна маловероятность экспертного выбора лучшего варианта при бесконечно большом их числе и для прежнего критерия максимального урожая, а тем более для векторного критерия доходов и затрат, на который должно ориентироваться сельхозиспользование [1]. В отличие от этого вариант, полученный в результате решения задачи оптимизации, является действительно оптимальным при условии правильной содержательной постановки задачи, обоснованности используемых для её записи уравнений и методов их решения, а также точности используемых для их идентификации натуральных данных. Учитывая вышеизложенное, остановимся на основных компонентах задач оптимизации сельскохозяйственного использования земель и возможных их вариациях.

#### ***Методологические основы и компоненты задачи оптимизации сельхозиспользования***

Обоснованность содержательной постановки задачи определяется формулировкой правильных целей и возможностью их прослеживания на основе использования для формализации объективно существующих физических (биологических) взаимосвязей в оптимизируемой системе уравнений с уровнем параметризованности, адекватным изученности процессов, вычислительным возможностям и, главное, имеющимся необходимым для идентификации параметров модели эмпирическим данным. То есть, главная проблема в выборе уровня сложности оптимизационной модели, обеспечивающего максимально возможную точность принятия решения при реально наличествующем информационном обеспечении.

Основным условием обоснованной оптимизации является **правильная формулировка целей и критериев**, так как при неправильно выбранных целях эффективное решение невозможно ни при какой точности последующих вычислений.

В отличие от прежних лет с дефицитом продовольствия и практически безграничной емкости союзным рынком продовольствия, когда целью было получение максимума сельскохозяйственной продукции, в современных условиях конкурентной экономики при оптимизации хозяйствования агропредприятий, очевидно, должны использоваться цели более высокого экономико-экологического уровня общности: **максимум доходов, минимум затрат**, так как ориентация на цели функционального уровня (максимум урожайности) может оказаться разорительной по экономическим показателям. Критерии и ограничения по валовому производству различных культур могут использоваться только как промежуточные в рамках частной задачи: производства необходимого для обеспечения животноводства кормами заданного набора культур в заданных объемах в составе более общей задачи оптимизации животноводства, однако все равно решаемой на экономические цели.

Другим важным фактором эффективного решения задачи оптимизации является **определение множества альтернатив**, на котором ищется её решение.

Остановимся на определении и структурировании множества альтернативных вариантов растениеводства. Очевидно, что вариантами являются размещение по наличествуемым  $n$  полям, имеющим различные природно-климатические свойства,  $m$  различных сельхозкультур (в это число входит и пар, т.е. отсутствие посева культуры), по-разному откликающихся на эти свойства, а также интенсивность ведения растениеводства на этих полях, т.е. ресурсы, вкладываемые в определяющие урожайность  $k$  урожаяобразующих факторов: водный режим (мелиоративные мероприятия), дозы удобрений, средства защиты, обработка почв и т.д.

Все эти варианты альтернатив организации растениеводства можно разделить на четыре иерархических уровня: **тип сельхозиспользования** → **тип севооборота** (число полей, культур, период ротации) → **вид севооборота** (конкретное распределение культур по полям в данном виде севооборота) → **уровень интенсивности выращивания сельскохозяйственных растений** (различные варианты уровней использования урожаяобразующих факторов: сортов культур, доз удобрений, средств защиты, влажности почвы и т.п.).

По типу сельхозиспользования можно выделить варианты:

1) разные культуры на полях, неизменные по годам (ряд полей без культуросмены);

Число возможных вариантов (из которых должен выбираться оптимальный) размещения  $m$  культур по  $n$  полям находится по зависимости:

$$R = m^n. \quad (1)$$

Найденное в результате оптимизации число культур может находиться в диапазоне от 0 до  $n$ . Частным случаем является вариант: 1а) одна культура на всех полях неизменная по годам (одно поле без культуросмены); 2) разные культуры на полях в один год, изменяющиеся по годам для каждого поля по-своему (временной севооборот).

Частным случаем 2) является вариант: 2а) одна культура на всех полях в одном году, но по годам культуры сменяются (одно поле с культуросменой); 3) разные культуры на каждом поле и согласованно меняются по годам (пространственно-временной севооборот).

Для данного случая число вариантов расположения культур без повторного появления одной и той же культуры на протяжении одного периода ротации ( $t$  лет) находится по формуле классического числа размещений:

$$A_m^t = m \cdot (m - 1) \cdot (m - 2) \cdot \dots \cdot (m - t + 1). \quad (2)$$

При  $m = n = t$  зависимость приобретает вид:

$$A_m^t = P_m = m! \quad (2')$$

При этом число вариантов севооборотов, создающих такое количество комбинаций размещения культур, в  $m$  раз меньше и представляют собой специфическую комбинаторику типа числа перестановок, но за вычетом таких, которые образуются перемеще-

нием в имеющемся наборе первого элемента в конце любое число раз (т.е. последовательность смены культур по годам за ротацию). Формула для расчета возможного числа вариантов севооборота при таких условиях имеет вид:

$$N_{\text{сев}} = (m - 1)! \quad (3)$$

где ! – знак факториала.

Альтернативам первых трех уровней, как правило, свойственна инерционность: неизменность в течение достаточно продолжительного периода, тогда как интенсивность выращивания может изменяться ежегодно. Отметим также, что внутри принятого севооборота затраты не зависят от порядка следования культур по годам. Поэтому в этом случае задействование фактора правильных предшественников является "бесплатным". Однако при выборе варианта сельхозиспользования каждый севооборот имеет свои, значительно отличающиеся, в зависимости от набора культур, затраты и доходы, которые и являются конечным показателем при определении необходимости трансформации сельхозиспользования («правильности» севооборота).

В целом растениеводство характеризуется бесконечным множеством альтернатив, как дискретных (счетное множество вариантов распределения культур по полям, определяемых по (1)-(3)), так и непрерывных (уровень используемых факторов урожая).

Сравнительный анализ типов сельхозиспользования с точки зрения формируемой урожайности сельскохозяйственных культур в качественных категориях можно осуществить, выделив четыре вида биологической адаптивности сельхозкультур: **к свойствам полей, к соседям, к предшественникам, к случайным погодно-климатическим воздействиям**, каждая из которых имеет и благоприятные и неблагоприятные последствия.

Очевидно, что адаптивность к природно-климатическим свойствам полей наиболее полно может достигаться в вариантах без культуросмены 1) и 1а), так как в этом случае для каждой культуры может быть выбрано наиболее соответствующее ей поле. Однако эти варианты наименее адаптивны с точки зрения предшественников, так как несмотря на наибольшую приспособленность к свойствам полей при бессменной по годам культуре с годами будет происходить снижение урожайности [2], причем зачастую возрастающее со временем. Уменьшение этого может достигаться либо увеличением использования средств защиты растений, что требует дополнительных затрат, либо периодическим высеванием культур-фитосанитаров, что обязательно должно учитываться при экономической оценке.

Увеличение адаптивности к свойствам полей при севооборотном варианте может достигаться путем организации в хозяйстве не одного, а нескольких севооборотов по полям, сгруппированным в соответствии со схожестью свойств (например, отдельно нормально увлажненные, отдельно переувлажненные поля и т.п.).

В отношении адаптивности к предшественникам несомненное предпочтение имеют варианты с культуросменой 2), 2а), 3), но очевидно, что при организации культуро-

смены на поле уменьшается степень возможной адаптации культур к его свойствам, так как помимо наиболее приспособленной культуры будут выращиваться и следующие по пригодности, т.е. с ростом числа культур в севообороте степень адаптивности к свойствам полей, как правило, уменьшается.

Варианты с выращиванием одной культуры менее адаптивны с точки зрения соседей (аллелопатия). Варианты с набором культур обеспечивают возможность адаптации к соседям, однако такое размещение культур может вступать в противоречие с адаптацией к свойствам полей.

Одно из важнейших преимуществ выращивания набора культур, а не одной культуры – адаптация к случайным, непредсказуемым с сезонной заблаговременностью погодно-климатическим условиям, так как вероятность одновременного неурожая в критические годы сразу по всем культурам значительно меньше, чем риск неурожая для монокультуры, т.е., учитывая вероятностный характер погодно-климатических условий, выбор решений должен осуществляться не в детерминированных, а в смешанных стратегиях.

Большее снижение риска гибели в годы с различным сочетанием неблагоприятных факторов может достигаться одновременным выращиванием культур с различной реакцией на входные погодно-климатические воздействия (влаголюбивых и засухоустойчивых, теплолюбивых и предпочитающих прохладные условия). При этом следует отметить, что размещение культур по полям адаптивно к условиям водного режима в средне-многолетних условиях, неоптимально в годы с экстремальными условиями, так как в засушливые годы более благоприятные для сельскохозяйственных культур условия складываются в понижениях и на влагоемких почвах (торф) и, наоборот, во влажные годы – на возвышенных участках. Уменьшение рисков может достигаться дублированием – высаживанием культур на участках с различающимися свойствами.

Итак, адаптивность культур к природно-климатическим условиям, т.е. зональная специализация, может ориентироваться как на среднесреднегодные условия, так и на экстремальные годы, что представляет собой кардинально различающиеся стратегии. При этом предельная специализация и адаптация к природно-климатическим условиям наиболее эффективна в среднесреднегодном разрезе, однако рискованна в экстремальные годы. И наоборот, максиминные стратегии, диверсификация выращиваемых культур и дублирование их размещения являются наиболее эффективными именно в экстремальные годы.

Таким образом, предпочтительности адаптивного размещения сельскохозяйственных культур в соответствии с четырьмя выделенными видами биологической адаптации не согласованы между собой: увеличение урожайности при адаптации к одному показателю может уменьшать его из-за ухудшения условий по другим (увеличение устойчивости к случайным погодным воздействиям за счет увеличения числа культур одновременно увеличивает возможность выбора благоприятных соседей и предшественников, но снижает возможность адаптации культур к свойствам полей и т.п.).

Однако количественно оценить совокупность влияния вышерассмотренных видов адаптации, даже исходя из биологического критерия – максимизации урожая, экспертным путем представляется невозможным. Обычно полагается, что наибольшее влияние на снижение урожайности оказывает бессменное выращивание одной культуры, на основании чего заведомое предпочтение отдается севооборотному варианту растениеводства [2]. Вероятно, по биологическому критерию продуктивности такое заключение не лишено оснований. Однако при использовании экономических критериев предпочтительность сельхозиспользования может кардинально измениться: даже при некотором снижении урожайности культуры с более высокой ценой реализации и меньшими затратами на выращивание могут оказаться предпочтительнее, чем обеспечивающий большую продуктивность, но мало ценный набор культур. Очевидно, что **при использовании критериев экономического уровня адаптивности (оптимальность) варианта сельхозиспользования должна пониматься (и соответственно должны выбираться решения) не в смысле промежуточного показателя – увеличения урожайности, а в смысле максимальной экономической эффективности.** При этом определить варианты наиболее эффективные (адаптивные) по экономическим показателям без расчетов на основе экспертирования просто нереально. Для этого необходимо решение задачи оптимизации, которая в общем виде может быть сформулирована следующим образом: выбрать вариант пространственно-временного размещения  $m$  культур по  $n$  полям и распределения ограниченных ресурсов  $P$  по  $k_{\text{фак}}$ , определяющим урожайность факторам, с учетом возможных дополнительных ограничений на величины валового сбора, площадей, величин факторов (доз), обеспечивающий удовлетворение сформулированным целям: максимум дохода, минимум затрат, максимум охраны природы.

В идеале при выборе оптимального варианта все они должны анализироваться сразу по всей вышеприведенной иерархии альтернатив: от наиболее общего – типа сельхозиспользования до частных – типов и видов севооборота, уровня интенсивности выращивания в каждом из них, используя модель, учитывающую взаимосвязи в цепочке: используемый вариант урожаеобразующих факторов (дозы) – формируемые режимы (водный, пищевой и т.д.) – урожай – экономика. При этом в зависимостях урожайности культур, используемых для оптимизации агропроизводства, интенсивность сельхозиспользования может учитываться переменными различного уровня параметризованности.

В наиболее строгой постановке это изменяющиеся во времени переменные состояния факторов урожая, для расчета которых необходимо использование дифференциальных уравнений с распределенными параметрами. При таком уровне сложности модели стандартные методы решения оптимизационных задач неприменимы и решение может осуществляться только используя переборные алгоритмы: последовательно проигрывая на имитационной модели возможные альтернативные варианты.

При обычно имеющемся информационном обеспечении (с как правило наибольшим дефицитом данных для получения многофакторных зависимостей урожая) для формализа-

ции задачи оптимизации агропроизводства реально использовать наиболее агрегированные характеристики: параметры  $\Pi$  (дозы удобрений, средств защиты, параметры мелиоративных систем и т.д.) и, соответственно, более параметризованные модели, близкие к типу производственных функций ( $Y=f(\Pi)$ ) [1]. При этом зависимость  $Y=f(\Pi)$  может быть получена исключительно путем идентификации произвольно постулированного полинома (алгебраического степени  $\ell$  (обычно не выше 2) или любого другого вида) по результатам натуральных данных: урожаеобразующим факторам и соответствующего им урожая за ряд лет по каждому полю. Число необходимых вариантов опытов по влиянию на урожай предшественников с  $t = 2, 3, \dots$ -летним последствием может быть определено по зависимости (2).

В этом случае задача может быть сведена к решению стандартными методами оптимизации: динамического, линейного программирования, а также использования переборных алгоритмов для нахождения лучшего варианта из большого, но конечного множества вариантов, определяемых по (1)-(3).

### **Выводы**

Необходимость перевода растениеводства на экономические показатели требует перехода в принятии решений по сельхозиспользованию земель с экспертно-нормативного подхода на использование оптимизационно-имитационных экономико-математических моделей.

Автоматизированные системы оптимизации сельхозиспользования должны основываться на целях экономико-экологического уровня, оптимизационно-имитационных моделях, адекватных уровню имеющегося вычислительного аппарата и возможных для использования натуральных данных.

Выбор оптимальных решений должен осуществляться из всего возможного множества альтернативных вариантов вида и уровня интенсивности сельхозиспользования, число которых определяется по представленным зависимостям.

### **Литература**

1. Вахонин Н.К. Методологические основы моделирования и создания систем принятия решений в мелиоративном растениеводстве // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века. Матер. Междунар. науч. конф. УП «БелНИИМСХ». – Мн., 2001. – С. 215-224.
2. Никончик П.И. Интенсивное использование пашни. – Мн.: Ураджай, 1995. – 192 с.

### **Summary**

#### ***Vakhonin N. Methodological principles of the shaping the problems to optimization plant growing***

In the work are stated methodological questions of creating the decision-making automatic system on agricultural use of lands, including forming of economy-ecological level purposes, structuring multitude of alternatives and creation optimizing-simulation model for best variants choice.

*Поступила 14 августа 2007 г.*