

УДК 631.3:519.86

# О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МАШИННЫМИ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ

**О.А. Иванов**

*Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии*  
Россия, 655132, Республика Хакасия, Усть-Абаканский район, с. Зеленое, ул. Садовая, 5  
E-mail: [oleg3077@yandex.ru](mailto:oleg3077@yandex.ru)

**Г.Л. Утенков**

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий*  
*Сибирский научно – исследовательский институт земледелия и химизации*  
Россия, 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск  
E-mail: [utenkov1951@mail.ru](mailto:utenkov1951@mail.ru)

**Э.О. Рапопорт**

*Институт математики имени С.Л. Соболева СО РАН*  
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 4  
E-mail: [ernest.rapoport@yandex.ru](mailto:ernest.rapoport@yandex.ru)

**Т.Е. Иванова**

*Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии*  
Россия, 655132, Республика Хакасия, Усть-Абаканский район, с. Зеленое, ул. Садовая, 5  
E-mail: [oleg3077@yandex.ru](mailto:oleg3077@yandex.ru)

**Ключевые слова:** зерновые культуры, эффективность, машинные агротехнологии, методы исследований, сложная система, анализ и синтез.

**Аннотация:** Зерновые культуры (ЗК) (яровая пшеница) в Сибири занимают 65% площади посева. Рост урожайности ЗК идет без развития. Причина - продолжительная несменяемость технологий, отсутствие управления. Система организационно-экономических мероприятий должна обеспечивать рост производства по сравнению с системой предшествующих мер не менее 35% при 75-80% вероятности реализации. Но даже реализация цифровых технологий снижает финансовые затраты до 30% на 1 т зерна. Необходима переориентация на проблемно-ориентированные исследования. Синтез является методом решения проблем. Машинные агротехнологии рассматриваются как сложные системы, для описания которых применен системный анализ. Предложены критерии для 3-х уровневой описания машинных агротехнологий; определены рациональная структура, средние величины и разброс урожайности; созданы новые технические решения.

## 1. Введение

В Сибирском федеральном округе (СФО) преобладает возделывание зерновых культур (ЗК). Так общая площадь пашни, засеваемая зерновыми культурами, и в частности яровой пшеницей, составляет 65%. Анализ литературы [1-3] показывает, что рост зернового производства в СФО осуществляется без развития и не является конкурентоспособным; оно по-прежнему остается не только экстенсивным и энергоемким, но и

экологически несбалансированным. Причина несоответствия потенциальным ресурсам агроландшафтов – отсутствие адаптации к местным почвенно-климатическим и социально-экономическим условиям технологий и техники [3]. Установлено [4], что степень влияния агротехнологий на машинное обеспечение не более 40%. Максимальный уровень влияния на фактор «земля» научно разрабатываемых технологических, фундаментальных и прикладных знаний – менее 50%. В работе [5, С.28] отмечается, что в сельском хозяйстве России фактически нет даже простого воспроизводства трудовых, материальных, финансовых, экологических и других ресурсов, но из года в год отмечается рентабельность отрасли. В отношении технологий царит если не хаос, то бессистемность. Каждый сельхозпроизводитель применяет те технологии, которые ему кажутся наиболее приемлемыми, хотя они далеко не всегда оптимальны [5, С.140]. С другой стороны, лимитирующим фактором для разработанных агротехнологий служит техническое оснащение [6]. Следовательно, при реализации машинных агротехнологий возделывания ЗК отсутствует управление. С позиций системотехники, процесс формирования эффективного поведения системы называется управлением. А акт управления – процесс формирования условий. Именно агротехнологии создают условия для роста и развития ЗК. Согласно [7], предлагаемые мероприятия должны обеспечивать рост эффективности не менее 35% при 75-80% вероятности их реализации.

Технологию возделывания ЗК необходимо рассматривать как систему. Поэтому применять даже самую экономную технологию на всей площади посева нецелесообразно. При этом расход ресурсов на единицу продукции следует считать мерилем эффективности любой технологии [8]. Считается [9], что важнейшей тенденцией современной науки о агротехнологиях должно стать междисциплинарное, проблемно-ориентированное исследование. Синтез является методом решения сопутствующих проблем. Но экономисты еще не доработали теорию интенсивного экономического роста, что не обеспечивает нам знаний более высокого уровня, благодаря которым возможно увидеть не только выясненную причину экономического явления, но и совокупность событий, подготовивших рассмотренную ситуацию [10]. Однако перспективным регионом по эффективности вклада финансовых вложений в улучшение использования биоклиматического потенциала для растениеводства считается СФО. Оптимизация структуры посевных площадей в СФО позволяет получить двухкратное увеличение валового дохода [11]. Считается [12], что универсальной математической модели для практических расчетов и прогнозов в широком временном и пространственном масштабе не существует, и ее в принципе невозможно создать. Поэтому правильная стратегия заключается в создании узко ориентированных решений для каждой конкретной проблемы – моделирование для конкретного случая.

Считается, что техническое знание – это знание о свойствах объектов, способах окружающей действительности, приемах и методах их преобразования в соответствии с имеющимися целями и воплощаемое в технических средствах. Согласно [13], в конкретных условиях прогнозируемые параметры рабочих органов агрегатов и машин должны обеспечивать получение прогнозируемой урожайности.

## 2. Основной текст

**Цель исследований** – обосновать методический подход для проектирования машинных агротехнологий, обеспечивающий получение заданных выходных показателей их эффективности. При этом следует отметить, что задачей агротехнологий является реализация процессов, направленных на изменение состояния почвы и растений с целью достижения ряда показателей, в частности, интегрированного показателя земледе-

лия – урожайности возделывания зерновых культур. А задачей инженерной науки – спроектировать техническое обеспечение, способное изменить состояние почвы и растений в соответствии с агротехнологией и требуемыми значениями показателей эффективности. Причем общая задача ресурсосбережения формируется как задача, в которой выходные результаты предшествующего уровня являются исходными данными для последующих уровней. Следовательно, возникает потребность разработки адаптационного механизма. При этом адаптация рассматривается как процесс изменения характеристик системы, позволяющей ей достичь наилучшего функционирования при изменении внешних параметров. Адаптационный механизм удерживает систему близкой в оптимальной области точке. Оптимальной является точка с наибольшей вероятностью сохранения минимума энергозатрат для эколого-экономической системы или минимальных затрат факторов производства для экономической системы.

В качестве основного методологического подхода для описания сложных систем (системы, содержащие неоднородные элементы) используется системный подход. Системный подход – это направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов; совокупности взаимодействующих объектов; совокупности сущностей и отношений. Результатом данного анализа является информационная модель системы, используемая в моделировании с целью принятия оптимального управляющего решения на любом уровне. А его эффективность определяется их структурой. Причем управление осуществляется с верхнего уровня иерархии, а исполнение с нижнего.

В основу описания сложных систем положены фундаментальные принципы:

1) принцип необходимого разнообразия Эшби, который гласит, что «разнообразие состояний системы управления должно быть не меньше разнообразия состояний управляемого объекта»;

2) принцип Беллмана, согласно которому оптимальной считается траектория, в которой составляющие ее элементы являются также оптимальными.

В соответствии методом анализа иерархии, на верхнем уровне обоснован экономический критерий эффективности – функционал прибыли; найдена функция, обеспечивающая ему экстремум – максимум прибыли [14]. Решающая функция имеет вид:

$$(1) \quad Y = B / (C - A_o) = \delta Y + Y_\alpha$$

Здесь  $\delta Y = B / (C - A_o)$  – урожайность, обеспечивающая точку безубыточности;  $B$  – постоянные затраты;  $A_o$  – удельные условно-переменные затраты;  $C$  – цена реализуемой продукции;  $Y_\alpha = 1 / \alpha$  – урожайность, определяющая вклад почвенно-климатических условий в конечной, оптимальной величине урожайности; имеет вид:

$$(2) \quad \alpha^{-1} = 10 K_t K_{\text{ФАР}} (e^{\pi K_o K_y} - 1) (a + \frac{b}{k_n}) / (\ln F_o - \ln F),$$

где  $10$  – коэффициент перевода урожайности, т/га;  $K_t$  – коэффициент теплообеспеченности;  $K_o = 1,0507$  – коэффициент развития;  $K_{\text{ФАР}}$  – коэффициент фотосинтетически активной радиации;  $K_y$  – коэффициент увлажнения;  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации;  $k_n$  – коэффициент неоднородности почвенного покрова (НСПП);  $F_o, F$  – посевная и имеющаяся площади пашни.

В соответствии свыше изложенным, целью второго технологического уровня является получение урожайности, что и является главной – полезной функцией агротехнологий. Для рекомендуемых трех уровней интенсивности агротехнологий [15] и прогнозируемой среднемировой величины урожайности ЗК равной 3,0 т/га, на базе решенной в [16] задачи о наилучшем приближении непрерывных мер, нами [1] предложен метод оценки параметров данных агротехнологий и обоснованы диапазоны изменения урожайности, как случайной величины:

- экстенсивный уровень  $Y_{ЭУТ} = 1,66$  т/га; диапазон изменения: 1,0 – 2,38 т/га;
- нормальный уровень,  $Y_{НУТ} = 3,10$  т/га; диапазон изменения: 2,38 – 3,97 т/га;
- интенсивный уровень,  $Y_{ИУТ} = 4,84$  т/га; диапазон изменения: 3,97 – 7,00 т/га.

При этом предполагается, что внутри каждого интервала случайные величины распределены по В-распределению.

Максимум прибыли возможен при доле вклада природно-климатических условий, выражение (1), не менее 56% [17]. Для регулирования увлажнения ( $K_y$ ) в условиях юга Средней Сибири разработана технология поверхностного полива [18].

Принято считать, что урожайность возделываемой культуры связана с техническим обеспечением через агротехнические сроки проведения полевых работ. При этом качественная потребность в технике определяется перспективной технологией возделывания ЗК, а количественная – оптимальными сроками проведения полевых работ. Поэтому технический уровень принят нами в качестве третьего уровня описания.

Выразим сроки проведения полевых работ ( $T$ ) через полезную работу ( $A_n$ ), затрачиваемую при реализации технологических операций в той или иной агротехнологии, и затраченную на них полезную мощность,  $N_n$ :

$$(3) \quad T = A_n / N_n .$$

Известно, что интегрированным показателем эффективности применяемых машинно-тракторных агрегатов (МТА) является их коэффициент полезного действия (КПД<sub>МТА</sub>). Выразим полезную работу через КПД<sub>МТА</sub>,  $\eta$  и затраченную работу,  $A_3$ :

$$(4) \quad A_n = \eta_{МТА} A_3 .$$

Взяв производную по времени от полезной работы, получим полезную мощность:

$$(5) \quad N_n = dA_n / dt = \eta_{МТА} (dA_3 / dt) + A_3 (d\eta_{МТА} / dt) .$$

Анализ выражения (5) показывает, что первое слагаемое, требующее постоянного подвода энергии при реализации агротехнологий, не имеет перспективы. Следовательно, эффективны мероприятия, отражающие второй член выражения (5). Тогда имеем:

$$(6) \quad T = A_n / N_n = A_n / A_3 (d\eta_{МТА} / dt) = \eta_{МТА} / (d\eta_{МТА} / dt) .$$

Из выражения (6) следует, что величина сроков проведения полевых работ определяется КПД<sub>МТА</sub>. Прогрессивно применение гибких технологических систем и многофункциональных агрегатов [4]. Для регулирования НСПП предложен гибкий технологический комплекс почвообработки [19]. Для условий юга Средней Сибири разработан комплекс технических средств, реализующих технологию поверхностного полива [20]. Новизна технических решений подтверждена патентами на изобретения.

В целом предложенные выражения (1, 2, 6) позволяют осуществлять регулирование водного режима и НСПП путем проектирования управляющих механико-технологических воздействий.

### 3. Заключение

Поведенные исследования позволяют сделать следующее заключение:

1) В СФО возделывание ЗК является преобладающим. Однако чрезмерное применение экстенсивных технологий делает их возделывание неэффективным, что обусловлено высокой энергоемкостью, ухудшением экологического состояния. Это указывает на отсутствие управления. Перспективно применение междисциплинарных исследований, которым в большей степени соответствует системный подход;

2) Применение системного анализа для поиска резервов роста эффективности агротехнологий, как сложных систем, позволило выявить три уровня управления: экономический, технологический и технический, для которых обоснованы критерии;

3) При среднемировой урожайности 3,0 т/га и рекомендуемых трех уровней интенсивности агротехнологий возделывания ЗК обоснованы средние значения и диапазоны ее изменения. Для юга Средней Сибири, с дефицитом увлажнения, разработана технология поверхностного полива. Технология прошла испытания на Сибирской МИС;

4) Предложенные механико-технологические решения обеспечивают требуемое качество, обладают технической новизной, подтвержденной патентами на изобретения.

## 4. Список литературы

1. Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О. Метод оценки параметров машинных технологий возделывания зерновых культур // Вестник РАСХН. 2017. № 6. С. 22-27.
2. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы / Под общей научной редакцией академиков РАН В.Ф. Федоренко, А.А. Завалина, Н.З. Милащенко. М.: Росинформагротех, 2018. 396 с.
3. Незавитин А.Г., Петухов В.Л., Власенко А.Н. и др. Проблемы сельскохозяйственной экологии. Новосибирск: Наука. Сиб. издат. Фирма РАН, 2000. 255 с.
4. Липкович Э.И. Человеческий фактор в землепользовании // АПК: Экономика, управление. 2017. № 3. С. 36-43.
5. Голубев В.А. Тенденции аграрной динамики России. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 226 с.
6. Кирюшин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // Земледелие. 2015. № 6. С. 51-59.
7. Липкович Э.И. Моделирование экономики и проблемы модернизации России // Вестник аграрной науки Дона. 2011. № 2. С. 4-32.
8. Храмов И.Ф., Кошелев Б.С. Экономическая оценка технологий, применяемых в зерновом производстве Западной Сибири // Земледелие. 2010. № 7. С. 27-28.
9. Баутин В.М., Панфилов В.А. Парадигма развития технологий АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2017. № 6. С. 18-31.
10. Корняков В. Производительность труда: критические темпы роста // Экономист. 2008. № 4. С. 51-59.
11. Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Размещение аграрного производства как механизм адаптации к климатическим изменениям // Экономика сельского хозяйства России. 2018. № 5. С. 71-76.
12. Баденко В.Л., Топаж А.Г., Якушев В.В. и др. Имитационная модель агроэкосистемы как инструмент теоретических исследований // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 3. С. 437-445.
13. Селиванов Н.И. Технологические свойства мощных тракторов. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2015. 202 с.
14. Утенков Г.Л. Стратегия формирования машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Сибири // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2. С. 123-127.
15. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / под ред. В.И. Кирюшина, А.Н. Власенко. Новосибирск. РАСХН, Сиб. отд-ние, СибНИИЗХим, 2002. 388 с.
16. Рапопорт Э.О. О дискретном приближении непрерывных мер и некоторых приложениях // Сибирский журнал индустриальной математики. 2012. Т. XV, № 3(51). С. 99-110.
17. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // Фундаментальные исследования. 2017. № 12-1. С. 229-233.
18. Иванов О.А., Иванова Т.Е., Утенков Г.Л. Технология поверхностного полива для юга Средней Сибири и программное обеспечение // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 4. Оптимизация сельскохозяйственных ландшафтов / под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: Изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. С. 390-394.
19. Утенков Г.Л., Добролюбов И.П. Моделирование рабочих процессов гибких автоматизированных технологических комплексов почвообработки. Новосибирск. СФНЦА РАН. НГАУ, 2018. 214 с.
20. Утенков Г.Л., Иванов О.А., Иванова Т.Е. Технологии поверхностного полива для юга Средней Сибири и техническое их обеспечение // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе,

Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 4. Оптимизация сельскохозяйственных ландшафтов / Под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: Изд-во ФГБНУ «ВНИ агрохимии», 2018. С. 395-399.