



УДК 631.171: 65.015.13: 005

П.П. МИЛАЕВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Н.Н. НАЗАРОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

*Сибирский научно-исследовательский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства
e-mail: sibime@ngs.ru*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Представлены результаты исследований по проблеме комплексной реализации достижений научно-исследовательских учреждений разного профиля в единой системе технологических, технических, экологических и экономических решений. Указанную проблему предложено решать с помощью методов инженерного проектирования сложных систем. Главной при инженерном проектировании технологий возделывания сельскохозяйственных культур является задача формирования множества возможных вариантов проектируемых объектов, их оценки и выбора эффективных из них. Для отбора эффективных вариантов предложена четырехэтапная процедура многокритериальной оценки. При принятии решений предложено применять комплексные показатели (критерии), формируемые с помощью методов квалиметрии. Используются методы морфологического анализа систем, экспертные, квалиметрии, технико-экономического анализа процессов функционирования технологических объектов в земледелии. Приведены примеры оценки и выбора технических средств для основной обработки почвы при возделывании зерновых культур в лесостепи Приобского плато. На первых двух этапах оценки вариантов проектируемых объектов использованы преимущественно экспертные методы, а на последующих – методы технико-экономического анализа.

Ключевые слова: технологии возделывания сельскохозяйственных культур, инженерное проектирование, квалиметрия.

В современных условиях, характеризующихся острым дефицитом в сельхозпредприятиях энергетических, трудовых, материально-технических и финансовых ресурсов, при разработке технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходима комплексная реализация достижений научно-исследовательских учреждений разного профиля, увязанных в единой системе технологических, технических, экологических и экономических решений, которые обеспечивают производство конкурентоспособной продукции в определенных природно-производственных условиях и эффективное использование всех применяемых ресурсов.

Указанную проблему предложено решать с помощью методов инженерного проектирования сложных систем [1]. При таком подходе технологии возделывания сельскохозяйственных культур мы рассматриваем как сложные технологические объекты (системы), которые функционируют в определенных природно-производственных условиях. В качестве основных при проектировании приняты методы системного анализа, и на их ба-

зе предложен блочно-иерархический подход, при котором систему условно расчленяют на подсистемы и решают задачи приемлемой сложности с помощью соответствующего инструментария.

Концептуально инженерное проектирование эффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур должно быть интегрированным (охватывать весь комплекс процессов возделывания), поисковым (при проектировании нужно выявить и использовать все перспективные достижения научно-исследовательских учреждений и передового опыта), синтетическим (многометодным), многовариантным и компьютеризированным с диалоговым режимом принятия решений. Для успешного формирования эффективных технологий нужно реализовать следующие основные принципы проектирования: программно-целевой подход (нацеленность на конечный результат), системный, функциональный и комплексный (многокритериальный) подходы, структуризацию (декомпозицию) целей, задач, эффектов и решений, оптимизацию решений, принцип функциональной полноты и осуществимости решений, итерационность процесса проектирования и др. [1].

Цель исследования – проанализировать методические подходы выбора эффективных вариантов при инженерном проектировании технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Центральная задача при инженерном проектировании сложных технологических объектов (в данном случае – технологий возделывания сельскохозяйственных культур) – формирование множества допустимых вариантов проектируемых объектов и выбор из них эффективных (рациональных) для последующей экспериментальной проверки и практической реализации. В данной статье рассматривается один из возможных подходов к решению этой задачи.

При инженерном проектировании технологий возделывания сельскохозяйственных культур и обосновании комплексов технических средств для их реализации необходимы следующие исходные данные: совокупность целей, условий и ограничений; множество возможных вариантов проектируемых объектов; набор критериев для оценки эффективности функционирования проектируемых объектов. В процессе проектирования из множества сформированных нужно выбрать варианты технологических процессов (ТП) и технических средств (ТС), удовлетворяющие всем исходным данным, а из них – наилучший (эффективный, парето-оптимальный) вариант, который обладает наилучшими показателями качества.

Совокупность исходных данных условно разбиваем на подгруппы:

1. Совокупность $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_p\}$ условий функционирования проектируемых объектов.

2. Совокупность $O_s = \{O_{s1}, O_{s2}, \dots, O_{sg}\}$ ограничений на структуру и параметры проектируемых объектов.

3. Структура вектора $CK = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ критериев для оценки эффективности функционирования проектируемых объектов.

4. Совокупность $O_k = \{O_{k1}, O_{k2}, \dots, O_{km}\}$ ограничений на численные значения критериев оценки вариантов проектируемых объектов.

5. Совокупность вариантов проектируемых объектов $MT = \{M_{T1}, M_{T1}, \dots, M_{Tn}\}$.

Совокупность целей здесь представлена через критерии эффективности функционирования проектируемых объектов, так как последние должны характеризовать степень достижения поставленных целей.

Для реализации указанного подхода необходимо обосновать процедуры формирования возможных вариантов проектируемых объектов, их оценки и выбора из них наилучших (эффективных, рациональных).

При проектировании важно сформировать полное множество возможных вариантов, так как рассмотрение неполного множества не дает гарантии выбора наиболее эффективного из них. Для решения данной задачи использован морфологический метод анализа систем [2]. Суть этого метода состоит в систематическом исследовании всех возможных вариантов построения проектируемого объекта, вытекающих из его структуры. При использовании данного метода объект разбивают на части, которые условно можно считать независимыми, причем каждая из частей имеет несколько возможных вариантов построения (решения). Вариант построения проектируемого объекта в целом получают, взяв одно из возможных решений для каждой части. Число таких вариантов равно числу возможных комбинаций, причем берется каждый раз одно решение для каждой из частей объекта. Для наглядного представления проектируемых объектов используют структурные схемы и графовые модели (сетевые графики, процессные сетки) [2]. С целью выявления всех возможных способов построения составных частей проектируемого объекта проводят информационный поиск.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки и выбора эффективных вариантов при инженерном проектировании технологий возделывания сельскохозяйственных культур мы предлагаем итерационную (многоэтапную, многошаговую) процедуру многокритериальной оценки проектируемых объектов. Методические подходы к решению этой задачи продемонстрируем на примере выбора ТП и ТС для основной обработки почвы в природно-производственных условиях лесостепи Приобского плато. Процедура многокритериальной оценки и выбора вариантов включает следующие этапы.

На первом этапе осуществляют отбор из множества возможных сформированных вариантов основной обработки почвы подмножества допустимых вариантов, отвечающих сформулированным целям, условиям, ограничениям и тенденциям (концепциям) совершенствования данного ТП. Путем экспертной оценки (по 10-балльной шкале) установлено, что для этой природно-производственной зоны наиболее перспективны следующие системы обработки почвы: адаптивная почвозащитная с дифференциацией по погодным условиям (средний балл 7,6; коэффициент вариации 0,11); минимально-мульчирующая (6,2; 0,15 соответственно); безотвальная разноглубинная (6,0; 0,21 соответственно).

При проведении информационного поиска выявлено 32 варианта возможных ТП основной обработки почвы. Из них, учитывая рекомендации зональных НИУ и имеющиеся экспертные системы [3], для условий этой природно-производственной зоны для дальнейшего анализа отобрано 14 вариантов.

На втором этапе с использованием экспертных методов оценивали варианты ТП основной обработки почвы из подмножества по степени выполнения сформулированных для них задач (требований) применительно к условиям лесостепи Приобского плато. Пример такой оценки отдельным экспертом показан в табл. 1 (фрагмент). В работе участвовали 6 экспертов, а полученную информацию обрабатывали статистическими методами [4].

На данном этапе по суммарной оценке из 14 допустимых вариантов для дальнейшего анализа отобрано 5 перспективных вариантов (1, 5–8) ТП основной обработки почвы. Из них вариант 1 – безотвальное рыхление стойками СибИМЭ – выбран в качестве базового для последующего сравнения с ним других анализируемых вариантов. Варианты 1 и 5 широко применяются в производственных условиях, 6, 7 и 8 проходят испытания в Сибирском агропромышленном доме (ОАО «САД») и Сибирском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства.

Задача на третьем этапе – отобрать из числа перспективных 2–3 лучших варианта (в том числе и базовый) для включения в проектируемые технологии возделывания сельскохозяйственных культур в конкретных природно-производственных условиях с последующей их экспериментальной проверкой. Отметим, что это будут разные технологии, так как различные ТП основной обработки почвы требуют определенных после-

Таблица 1

Экспертная оценка ТП основной обработки почвы по степени выполнения сформулированных для них требований при возделывании зерновых культур в лесостепи Приобского плато (фрагмент)

Основные требования к технологическому процессу основной обработки почвы в лесостепи Приобского плато	Оценка степени выполнения сформулированных требований к данному ТП (в долях от 1)							
	Варианты способов выполнения ТП и машин (орудий)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Создание условий для накопления и сохранения влаги в почве	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7
Предотвращение процессов эрозии почвы	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7
Создание требуемого строения пахотного слоя	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7
Уничтожение сорной растительности	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
Мобилизация питательных веществ почвы	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4
Суммарная оценка	3,2	2,5	2,4	2,5	2,7	3,0	2,6	3,0

Способы обработки почвы и орудия: 1 – безотвальное рыхление (22–27 см), стойки СибИМЭ; 2 – поверхностное рыхление на 10–14 см, БДТ, БДМ; 3 – лушение на 5–8 см, ЛДГ; 4 – культивация на 10–14 см, КТС; 5 – комбинированная обработка орудием типа «Лидер»; 6 – плоскорезная сплошная на 10–12 см с полосным углублением на 28–30 см, ПРГ; 7 – плоскорезно-нулевая, КТС; 8 – поверхностная полосная (4–6 см) + щелевание, БИГ + стойки «Параплау».

дующих ранневесенних и предпосевных обработок почвы и способов сева (технологическая наследственность).

Здесь в дополнение к показателю качества выполнения ТП (см. табл. 1, суммарную оценку) использовали два эксплуатационно-технологических показателя – удельный расход топлива и удельные затраты труда на реализацию анализируемых ТП. Эти показатели можно определить при испытаниях опытных образцов машин или рассчитать при условии агрегатирования этих машин с тракторами одного класса. В нашем случае использован расчетный метод при агрегатировании машин с трактором типа Т-150К.09. Значения коэффициентов важности (значимости) применяемых в данной совокупности показателей определяли экспертным путем. Результат оценки вариантов ТП основной обработки почвы, отобранных на предыдущем этапе, приведен в табл. 2.

Комплексный критерий (U) оценки эффективности ТП определяли по формуле

$$U = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot q_i; \sum_{i=1}^n \delta_i = 1; \delta_i > 0; i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где n – общее число частных показателей; δ_i – коэффициент весомости (важности, значимости) i -го показателя в общей системе показателей; q_i – относительное значение показателей оцениваемых вариантов в сравнении с показателями базового варианта.

Значения q_i определяли по формуле [9]

$$q_i = \begin{cases} P_{i0} / P_6, & \text{если качество оцениваемого объекта возрастает} \\ & \text{при увеличении } P_{i0}, \\ P_6 / P_{i0}, & \text{если качество оцениваемого объекта уменьшается} \\ & \text{при увеличении } P_{i0}, \end{cases} \quad (2)$$

где P_{i0} – значение i -го частного показателя для оцениваемого варианта; P_6 – значение i -го частного показателя для базового варианта.

Таблица 2

Оценка вариантов ТП основной обработки почвы по частным показателям при возделывании зерновых культур в лесостепи Приобского плато

Показатели оценки вариантов ТП основной обработки почвы и коэффициенты их значимости (δ_i)	Обозначение показателей	Варианты ТП основной обработки почвы (см. табл. 1)				
		1 (базовый)	5	6	7	8
Качество выполнения технологических процессов (ТП), балл ($\delta_1 = 0,62$)	P_i	3,2*	2,7	3,0	2,6	3,0
	q_i	1,00*	0,84	0,94	0,81	0,94
Удельный расход топлива, л/га ($\delta_2 = 0,20$)	P_i	13,8*	7,8	8,4	6,5	6,6
	q_i	1,00*	1,77	1,64	2,12	2,10
Удельные затраты труда на выполнение ТП, чел.-ч/га ($\delta_3 = 0,18$)	P_i	0,58*	0,44	0,40	0,34	0,36
	q_i	1,00*	1,32	1,45	1,70	1,61
Комплексная оценка (аддитивная свертка показателей)	U_i	1,00*	1,11	1,17	1,22	1,29

* Показатели базового варианта.

Для последующего анализа и экспериментальной проверки по значению комплексного показателя выбраны варианты 1 (базовый), 7 и 8. Плоскорезно-нулевая обработка (вариант 7) предусматривает обработку полос шириной 0,4 м на глубину 10–12 см с чередованием необработанных полос такой же ширины (обработки культиватором типа КТС-10.1, через лапу). Вариант 8 предусматривает полосную разноглубинную обработку и включает полосы, обработанные рабочими органами типа БИГ, стерня без обработки со щелеванием стойками «Параплау». По данному орудью ведутся исследования по обоснованию его параметров и режимов работы.

Наиболее полную оценку как отдельных ТП, так и сформированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в целом осуществляют на этапе их экспериментальной проверки. Здесь имеется возможность получить достоверные исходные данные для определения эксплуатационно-технологических и технико-экономических показателей проектируемых объектов (ТП, ТС, технологий).

Для оценки технологических объектов различного иерархического уровня предлагается использовать систему согласованных показателей [5]. Так, для всесторонней оценки качества применяемых технических средств рекомендуется использовать совокупность показателей, приведенных в табл. 3 [6–8]. При выборе лучшего варианта следует дополнительно учитывать и затраты на реализацию анализируемых ТП (удельные эксплуатационные затраты, технологическая себестоимость работы, удельные приведенные затраты).

При оценке технологий возделывания сельскохозяйственных культур предложено использовать следующие показатели: урожайность культуры, технологическую себестоимость продукции, удельные затраты труда на

Таблица 3
Показатели и коэффициенты их значимости для оценки качества машин (орудий), используемых при возделывании сельскохозяйственных культур

Показатель качества машин и орудий	Коэффициенты значимости показателей оценки ТС при реализации технологических процессов					
	Основная обработка почвы	Поверхностная обработка почвы	Подготовка семян к посеву	Посев, посадка	Внесение минеральных удобрений	Защита посевов
Качество выполнения технологического процесса	0,141	0,159	0,167	0,167	0,147	0,153
Экологичность машины (орудия)	0,136	0,120	0,147	0,109	0,156	0,153
Надежность техники	0,115	0,143	0,125	0,140	0,129	0,129
Удельная энергоёмкость	0,150	0,120	0,102	0,115	0,106	0,104
Удельная трудоёмкость ТП	0,125	0,127	0,110	0,127	0,113	0,107
Безопасность и условия труда	0,109	0,115	0,153	0,122	0,138	0,145
Универсальность машин (орудий)	0,113	0,115	0,100	0,107	0,112	0,111
Удельная материалоемкость ТП	0,111	0,101	0,096	0,113	0,090	0,088

Примечание. Жирным шрифтом отмечены наиболее значимые показатели для конкретных типов ТП.

единицу продукции, эколого-экономическую эффективность технологии (учет влияния на природную среду) [8]. При принятии решений применяют комплексные показатели, которые формируют с помощью методов квалиметрии [9].

ВЫВОДЫ

1. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур по своей сути являются сложными эколого-экономическими системами. При их формировании мы предлагаем использовать методы проектирования сложных технологических и технических систем, которые уже нашли применение в других отраслях экономики.

2. При инженерном проектировании указанных выше технологий центральной является задача формирования, оценки и выбора вариантов проектируемых технологических объектов. Для ее решения предлагается использовать методы морфологического анализа, экспертные и методы технико-экономического анализа при многокритериальной оценке вариантов проектируемых объектов.

3. Для оценки вариантов проектируемых объектов и выбора из них наиболее эффективных предложена итерационная (многоэтапная) процедура анализа показателей функционирования ТП и ТС, где на начальных этапах используются экспертные методы, а на заключительном этапе – методы технико-экономического анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Каширский А.И., Ландина М.К., Милаев П.П.** Концептуально-теоретические предпосылки и принципы автоматизированного проектирования инженерно-технологических систем производства продукции земледелия // Инженерно-техническое обеспечение технологических процессов сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2006. – С. 13–25.
2. **Одрин В.М.** Методы морфологического анализа технических систем. – М.: ВНИИПИ, 1989. – 310 с.
3. **Каличкин В.К., Филимонов Ю.П., Иодко Л.Н.** Выбор приема основной (зяблевой) обработки почвы по агроэкологическим факторам: практ. пособие. – Новосибирск, 2005. – 20 с.
4. **Литвак Б.Г.** Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
5. **Милаев П.П.** Система согласованных показателей для оценки эффективности функционирования инженерно-технологических систем производства продукции земледелия // Инженерно-техническое обеспечение технологических процессов в агропромышленном комплексе Сибири: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2007. – С. 150–160.
6. **Назаров Н.Н.** Методические подходы к разработке технологии внесения суспензии бактериальных препаратов при посеве зерновых // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2010. – № 3. – С. 93–100.
7. **Нестяк В.С., Каширский А.И., Ивакин О.В.** Методологические основы производства рассады с защитной почвенно-корневой структурой // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2011. – № 1. – С. 99–105.
8. **Милаев П.П.** Оценка уровня конкурентоспособности техники для земледелия: метод. рек. – Новосибирск, 2000. – 56 с.
9. **Прикладные вопросы квалиметрии.** – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 136 с.

Поступила в редакцию 08.04.2014

**P.P. MILAEV, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher,
N.N. NAZAROV, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher**

*Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture
e-mail: sibime@ngs.ru*

APPROACHES TO CHOOSING EFFECTIVE OPTIONS IN ENGINEERING DESIGN OF AGRO-TECHNOLOGIES

Results are given from investigations into the comprehensive realization of achievements obtained by various research establishments in the uniform system of technological, engineering, ecological, and economic decisions. It is suggested to solve this problem by the methods of engineering design of complex systems. The main task in designing a technology for cultivating agricultural crops is to form a set of possible options of objects designed, to evaluate them and to choose the most effective ones among them. To choose the effective options is suggested a four-stage procedure of multicriterion assessment. For making decisions is offered to use integrated criteria formed by the methods of qualimetry. There were used the following methods: morphological analysis of systems, expertise, qualimetry, technical and economic analysis of processes of functioning engineering objects in soil management. There are given the examples of assessing and choosing engineering tools for soil tillage, when cultivating grain crops in the forest steppe areas near the Ob River. At the first two stages of assessing options of the objects designed were mainly used the expert methods, and at the follow-on stages – the methods of technical and economic analysis.

Keywords: technology for cultivating agricultural crops, engineering design, qualimetry.

УДК 531. 663: 631.331

Н.С. ЯКОВЛЕВ, доктор технических наук, главный научный сотрудник

*Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации
сельского хозяйства
e-mail: yakovlev-46@inbox.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ СЕМЯН ПРИ УДАРЕ О РАССЕКАТЕЛЬ СОШНИКА

Разработана методика определения коэффициента восстановления скорости семян при ударе о рассекатель посевной машины путем имитации реального процесса распределения семян под лапой сошника. Для обеспечения нужной скорости семян при ударе их сбрасывали с полки, установленной на высоте 50, 100, 150 и 200 мм на металлическую пластину, расположенную под углом 45° на высоте 50 мм от поверхности. По среднему расстоянию отскока семян рассчитаны коэффициенты восстановления скорости семян после удара о поверхность пластины. Проведены эксперименты с семенами пшеницы, овса, ржи, ячменя, гречихи и гороха. Определены средние значения расстояний при отскоке семян от рассекателя и доверительные интервалы. Построен полигон распределения семян относительно средней величины отскока. Установлены средние значения коэффициентов восстановления скорости семян после удара: семян пшеницы – 0,54, овса – 0,46, ржи – 0,51, ячменя – 0,56, гречихи – 0,51, гороха – 0,65. Определено, что коэффициент восстановления скорости семян зависит от формы семян, состояния их поверхности и от скорости удара о пластину.

Ключевые слова: семена, коэффициент восстановления, отскок, среднее расстояние, сошник.

Урожайность зерновых культур во многом зависит от равномерного распределения семян в полосе их посева. При разработке сошников по-