

УДК 631.153

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**А.В. Ленский,**

*зав. сектором эксплуатационно-экономической оценки машин  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. экон. наук*

**А.А. Жешко,**

*вед. науч. сотр. сектора эксплуатационно-экономической оценки машин  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент*

**И.С. Крук,**

*проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье представлены принципы разработки программного продукта для планирования производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия. Изложены методические аспекты построения информационных и вычислительных модулей, концепция функционирования специализированного сайта, результаты практической реализации проекта.*

*Ключевые слова: программное обеспечение, управление предприятием, планирование, оптимизация, машинно-тракторный парк, производственная эксплуатация.*

*The principles of developing a software product for planning the production activities of an agricultural enterprise are presented in the article. The methodological aspects of the construction of information and calculation modules, the concept of the functioning of a specialized website, the results of the practical implementation of the project are described.*

*Key words: software, enterprise management, planning, optimization, machine and tractor fleet, industrial production operation.*

### Введение

Приоритетной целью национальной экономики в контексте рыночных преобразований является модернизация отечественного АПК на основе реализации комплекса мероприятий, важнейшим из которых является интенсификация процессов производства продукции. Ведущая роль в решении этой задачи принадлежит механизации сельскохозяйственного производства, выступающей в форме основы устойчивого развития аграрного сектора. В современных условиях возможности роста уровня технической оснащённости достаточно ограничены, что вызвано последствиями экономических трансформаций, общим снижением ресурсной обеспеченности товаропроизводителей, дефицитом финансовых и материальных средств.

В этой связи, существенным резервом, нивелирующим остроту кризисной ситуации в отрасли растениеводства, является эффективное использование средств механизации, адаптированных к производственным условиям конкретных хозяйств и имеющих рациональные технические параметры и показатели эксплуатации. По заключению ФАО, в последние годы повышение уровня механизации становится одним из приоритетных вопросов развития сельского хозяйства,

поскольку потенциальные возможности эффективного применения современных машин и, соответственно, инновационных технологий возделывания продукции, реализованы далеко не в полной мере.

Закономерно, что в условиях развития науки и техники, мировой тенденцией в области стратегии развития механизации является не просто наращивание энергетических мощностей, а переход к концепции «точного» сельского хозяйства, что предъявляет еще более высокие требования к качеству управления предприятием. Разумеется, что огромные массивы информации невозможно обрабатывать без применения специализированных программ или программных комплексов. В этом плане имеется настоятельная необходимость в разработке экспертных систем, предлагающих пользователю (сельскохозяйственному товаропроизводителю) перечень рекомендаций, полученных расчетным путем на основании многокритериальной оптимизации с учетом местных требований к выполнению производственного процесса.

По оценкам американского бизнес-издания «Ips», рынок сельскохозяйственного программного обеспечения входит в TOP-8 индустрий для развития бизнеса в ближайшие годы, а ожидаемые доходы на рынке ПО составят до 2 млрд долл. США в год [1, 2].

Неудивительно, что высокая емкость рынка привела к развитию и популяризации специализированных информационных и вычислительных систем, позволяющих упростить процесс планирования и контроля выполнения сельскохозяйственных работ: Trimble (подразделение Cengage), Red Wings Software (подразделение Center Point), Agrivi, iAgri, AgConnections (комплекс Land. db), Landmagic, Agrimap, Agroptima, Agroop, Fairport Farm Software (комплекс PAM QA Plus), Exact Farming (Россия), OneSoil и др.

Большинство таких программных продуктов предназначено для ведения учета, либо составления планов в ручном режиме, что представляет собой достаточно трудоемкий и кропотливый процесс. В то же время они не являются оптимизационными моделями, которые позволяют оперативно предоставить пользователю комплекс возможных решений с учетом фактических данных. Теоретические исследования по планированию деятельности сельскохозяйственных предприятий, выполнению оптимизационных расчетов, построению прогнозов можно найти в ряде научных трудов и на веб-порталах университетов [3-9]. Однако результаты в научных публикациях представлены в форме теоретического анализа и частных примеров и не позволяют распространить их на любое сельскохозяйственное предприятие.

#### Основная часть

Идея предлагаемой модели заключается в создании многофункционального программного комплекса, представляющего собой практический инструмент для оперативного и стратегического управления сельскохозяйственным предприятием, планирования его производственной деятельности в режиме on-line (рис. 1).

Программный продукт представляет собой многоуровневую среду, основными элементами которой являются: Администратор, Пользователи и Менеджер Данных.

Общие функции и возможности Администратора включают сопровождение баз данных и системных модулей, в том числе подготовку и внесение инфор-

мации о материальных ресурсах, а также материалов для проведения основных и вспомогательных расчетов; управление пользователями, включая возможность их блокировки либо ограничения доступа к любому из модулей административной базы данных; поддержку сервисов и сайта в актуальном состоянии, онлайн консультации, помощь в использовании программного продукта, подготовку обзоров, новостей, коммерческих предложений.

Возможности Пользователя позволяют:

- осуществить авторизацию в системе и получить доступ к функционалу программного комплекса, включая возможность просмотра общих баз данных, создание пользовательских баз данных;
- создать виртуальное хозяйство и работать с электронными картами полей;
- осуществлять технологическое планирование на основе автоматизированных оптимизационных расчетов;
- управлять учетом материальных запасов и выполненных работ;
- получать доступ к информации по долгосрочному прогнозированию климатических условий.

Общие функции и возможности Менеджера Данных включают регулярную поддержку функционирования системы и баз данных, контроль и управление безопасностью и защитой персональной информации; автоматизированное получение информации из внешних источников и ее организацию на облачном сервисе (исторические данные с метеостанций); информацию с сенсоров, установленных на машинах; автоматический подбор ближайших дилеров по месту геолокации сельскохозяйственного предприятия с учетом специализации фермера.

Предлагаемая программная система Agronaut представляет собой многоуровневую среду и построена на модульном принципе. Модульная структура позволяет легко добавлять дополнительные функции, адаптированные в соответствии с требованиями пользователей и убирать функции, которые пользователю не нужны [10]. На первом этапе система будет содержать следующие модули, доступные на сайте



Рисунок 1. Модель многофункционального программного комплекса



Рисунок 2. Структура программного комплекса

www.agronaut.by (рис. 2):

1. Личный кабинет пользователя, который включает в себя общую информацию о предприятии, электронные карты полевых участков, сведения об основных фондах и т.д. При этом пользователю предоставляется удобный интерфейс для редактирования данной информации, ведения учета движения материальных ресурсов, составления заметок и напоминаний;

2. Информационный модуль, который включает в себя обзорные и аналитические материалы, постоянно обновляемые базы данных сельскохозяйственной техники с возможностью ее предварительного сравнения и оценки. Важную роль в этом модуле будут играть результаты тестирования машин и оборудования, проведенные независимыми потребительскими организациями и научными учреждениями, а также экспертные мнения фермеров. Данный модуль будет также полезен производителям машин и оборудования и дилерским сетям для рекламы и информирования фермеров о новейших разработках и коммерческих предложениях и обратной связи;

3. Расчетный модуль, представляющий собой комплексное приложение для прогнозирования производственной деятельности и включающий в себя элементы построения севооборотов, индивидуальное технологическое планирование для каждого полевого участка, обоснование состава и структуры машинно-тракторного парка на основе многокритериальной оптимизации;

4. Климатический модуль для краткосрочного прогноза погодных условий (вплоть до масштабирования в пределах поля) путем экстраполяции данных по времени и интерполяции в пространстве на основе исторической информации с близлежащих метеостанций (не менее трех);

6. Практичные и удобные онлайн-калькуляторы, позволяющие выполнять расчеты, связанные с повышением эффективности эксплуатации машин и оборудования (рациональное комплектование агрегатов, оптими-

зация движения техники по полевым участкам), а также осуществлять экономическую оценку техники;

7. Интерактивный модуль (социальная сеть), предназначенный для сотрудничества фермеров в целях эффективного использования излишков оборудования или иных материальных ресурсов, а также снижения затрат на эксплуатацию дорогостоящего оборудования и времени работы. Этот модуль может быть особенно полезен для групп фермеров (фермерских кооперативов), которые заинтересованы в сокращении своих расходов за счет совместного владения и эксплуатации оборудования.

Ключевые преимущества предлагаемой системы по сравнению с конкурентами:

1. Модульная структура позволяет адаптировать систему под потребности конкретного пользователя;

2. Выбор наиболее эффективных способов использования сельскохозяйственных ресурсов и разработка кратко-, средне- и долгосрочных прогнозов выполнения работ на основе многокритериальной оптимизации;

3. Интеграция инструментов принятия решений (локальные онлайн-калькуляторы, оптимизационные и прогнозные модели и пр.) в единую систему, что позволяет предоставить пользователю комфортную рабочую среду;

Коммерциализация предлагаемого проекта возможна на концепции SaaS (Программное обеспечение как услуга). Система разработана как веб-приложение с основными модулями хранения и обработки данных, размещенными в облачном сервисе. Пользователь оплачивает не сам программный продукт, а возможность доступа к его функционалу и получает набор рекомендаций и всю доступную информацию для поддержки своих управленческих решений. Средняя стоимость предлагаемых конкурентами программных продуктов составляет порядка 400 долл. США в год независимо от размера предприятия. При этом следует

дополнительно отметить, что существующее программное обеспечение предназначено, в первую очередь, для ведения учета и бюджетирования работ, хранения истории выполненных работ и статистического анализа накопленных данных. Предлагаемая система позволяет выполнять оперативное и стратегическое планирование работ на основе результатов оптимизационных расчетов. Это значительно уменьшает субъективный фактор при принятии управленческих решений и повышает эффективность планирования.

В настоящее время разработана математическая модель многокритериальной оптимизации, созданы взаимосвязанные базы данных для отладки программного обеспечения, разработаны алгоритмы и программные модули: электронные карты полей, каталоги техники, расчета эксплуатационных характеристик и экономических показателей работы машинных агрегатов, формирования технологий возделывания сельскохозяйственных культур, оптимизации траектории движения техники на основе географических информационных систем. Функционирующие модули представлены на сайте [www.agronaut.by](http://www.agronaut.by).

Рассмотрим некоторые информационные и вычислительные модули, функционирующие на разработанном сайте:

### 1. Базы данных технических средств

В целях визуального представления применяемых в расчетах технических средств разработана база данных тракторов, самоходных комбайнов, автомобилей, погрузчиков и сельскохозяйственных машин. База представляет собой комплекс таблиц, представленных в нормализованной форме и построенных по принципу реляционной модели данных. В базе данных представлена информация о производителях техники, эксплуатационных и экономических параметрах машин (мощность, масса, тяговый класс, емкость бункеров, стоимость и пр.).

Наличие такого каталога позволяет пользователю не только ознакомиться с базовыми техническими и эксплуатационными характеристиками выбранного оборудования, но и выполнить сопоставление нескольких машин по интересующим его параметрам, включая экономическую оценку агрегатов. На рисунке 3 приведены результаты расчета стоимости работ по отвальной вспашке, выполняемой машинно-тракторным агрегатом в составе БЕЛАРУС-1523+ППО-4-40К, которые включают затраты на амортизацию, ТО и ремонты, топливо, оплату труда, а также альтернативные издержки и расходы на страхование и кредитные ресурсы.

### 2. Модуль комплектования машинно-тракторных агрегатов

Для повышения эффективности использования имеющегося производственного потенциала разработана современная методика комплектования машинно-тракторных агрегатов на основе совмещения аналитических исследований и графических постро-

ений тягового баланса МТА, что позволит точно и качественно определить параметры эксплуатации техники на различных агрофонах. Преимущества предлагаемого метода заключаются в возможности автоматизации расчета любых агрегатов на основе минимальных сведений о тяговых показателях энергетических средств и технико-технологических параметрах машин путем использования соответствующих функциональных зависимостей.

Комплектование машинно-тракторного агрегата (МТА) выполняется на основе сопоставления тягового сопротивления сельскохозяйственной машины и диапазона рациональных рабочих усилий трактора, полученных из аналитических построений его потенциальной характеристики, что позволяет определить наиболее эффективный режим эксплуатации рассматриваемого МТА. На рисунке 4 представлены результаты тягового расчета агрегата БЕЛАРУС-3522+ППО-8-40К, на основании которого определяется рациональная скорость движения и удельный расход топлива для конкретных условий эксплуатации.

Для подтверждения работоспособности предлагаемой методики, были рассмотрены результаты теоретических расчетов и производственных испытаний отдельных машинно-тракторных агрегатов в условиях ГУ «Белорусская МИС» (табл. 1).

Приведенные данные свидетельствуют о высокой степени сходимости расчетных и экспериментальных значений.



Рисунок 3. Пример расчета затрат на эксплуатацию машинно-тракторного агрегата

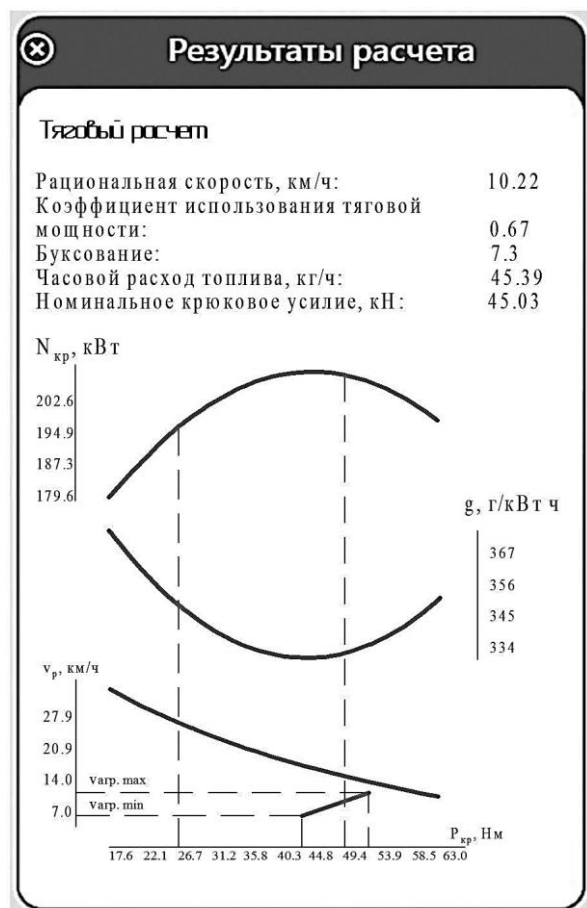


Рисунок 4. Пример комплектования машинно-тракторного агрегата

Таблица 1. Сравнительная оценка расчетных скоростей агрегатирования

Наименование агрегата	Скорость по данным испытаний, км/ч	Предлагаемая методика	
		Расчетная скорость, км/ч	Отклонение, %
БЕЛАРУС 2522 + ППО-8-40К	9,9	9,5	-4,0
БЕЛАРУС 1221 + СПУ-6	10,5	10,7	+1,9
БЕЛАРУС 820 + ГВЦ-6,6	12,0	11,6	-3,3
БЕЛАРУС 820 + МТТ-4У	8,5	8,9	+4,7

### 3. Модуль оптимизации траектории движения агрегата

В настоящее время основным способом нормирования выработки машинно-тракторных агрегатов являются хронометражные наблюдения, что связано с высокой трудоемкостью процесса, необходимостью качественного контроля и учета рабочего времени, а также ограниченной областью применения полученных ре-

зультатов. В этой связи разработана методика и вычислительный алгоритм оптимизации производительности комплектованных машинно-тракторных агрегатов для конкретных конфигураций полевых участков на основании исходной информации об их географических координатах, находящихся в открытом доступе в GoogleMaps (рис. 5).

Разработанное программное обеспечение позволяет определять оптимальную траекторию движения МТА по выбранному участку с расчетом потенциальной производительности, обеспечивает возможность предварительного нормирования полевых работ для любых видов технических средств на участках произвольной конфигурации без проведения трудоемких операций по хронометражу работ.

При этом корректный выбор направления движения может обеспечить прирост сменной выработки до 20 % в зависимости от типа выполняемых работ и контура поля.

### 4. Модуль формирования технологий

Оценка вариантов производства любых сельскохозяйственных культур может быть выполнена только на основе расчета технологических карт, что является достаточно трудоемким процессом. В этой связи, в рамках настоящего проекта, разрабатывается алгоритм расчета технологической карты в режиме on-line, что позволит оперативно составлять технологию, проводить ее оценку, а также корректировку, как в части перечня операций, так и применяемой техники (рис. 6).

### Заключение

Наиболее перспективным направлением разработки сельскохозяйственного программного обеспечения является предложение пользователю широкого перечня приложений по различным направлениям управленческой деятельности, сконцентрированных на едином онлайн ресурсе. В настоящее время рынок программного обеспечения для сельского хозяйства находится в стадии развития и активными пользователями онлайн систем являются порядка 20 % фермеров. По оценкам экспертов, рынок цифровых технологий в сельском хозяйстве будет активно расти и к 2025 году охватит до 80 % фермеров.

Предложен проект программной системы, в комплексном виде содержащий вычислительные и аналитические разделы, которые могут быть полезны специалистам предприятий агропромышленного комплекса, разработчикам сельскохозяйственной техники, преподавателям высших учебных заведений и научным работникам.

### СПИСОК ИСПОЛЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The Best Industries for Starting a Business in 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.inc.com/graham-winfrey/best-industries->

[2015-the-best-industries-for-starting-a-business-in-2015.html](http://2015-the-best-industries-for-starting-a-business-in-2015.html). – Date of access: 21.12.2021.

2. Top Six Digital Transformation Trends In Agriculture [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2018/05/14/top-six-digital-transformation-trends-in-agriculture/#24ba88e0ed2e>. – Date of access: 15.12.2021.

3. Iowa State University [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.extension.iastate.edu/agdm/cdfirst.html>. – Date of access: 21.12.2021.

4. Kansas State University. AgManager [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.agmanager.info/machinery>. – Date of access: 16.12.2021.

5. Ohio State University Extension. Ag Crops and Livestock [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ohioline.osu.edu/topic/ag-crops-and-livestock>. – Date of access: 17.12.2021.

6. Landers, A. Farm Machinery: Selection, Investment and Management / A. Landers. – Kent: Farming Press, 2000. – 152 p.

7. Lazarus, W. Suggested Procedures for Estimating Farm Machinery Costs / W Lazarus, R. Selley // Univer-

sity of Minnesota [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/14072/1/p02-16.pdf>. – Date of access: 18.12.2021.

8. Dash, R.C. A Computer Model to Select Optimum Size of Farm Power and Machinery for Paddy-Wheat Crop Rotation in Northern India / R.C. Dash, N.P.S. Sirohi // Agricultural Engineering International: CIGR journal [Electronic resource]. – 2008. – Vol. X. – Mode of access: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1245/1101>. – Date of access: 19.12.2021.

9. Yang, H. Case Analysis of Farm Agriculture Machinery Informatization Management Network System / H. Yang, X. Wang, W. Zhuang // Computer and Computing Technologies in Agriculture III [Electronic resource]. – Mode of access: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-12220-011>. – Date of access: 20.12.2021.

10. Ленский, А.В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства / А.В. Ленский. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2018. – 377 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.02.2022

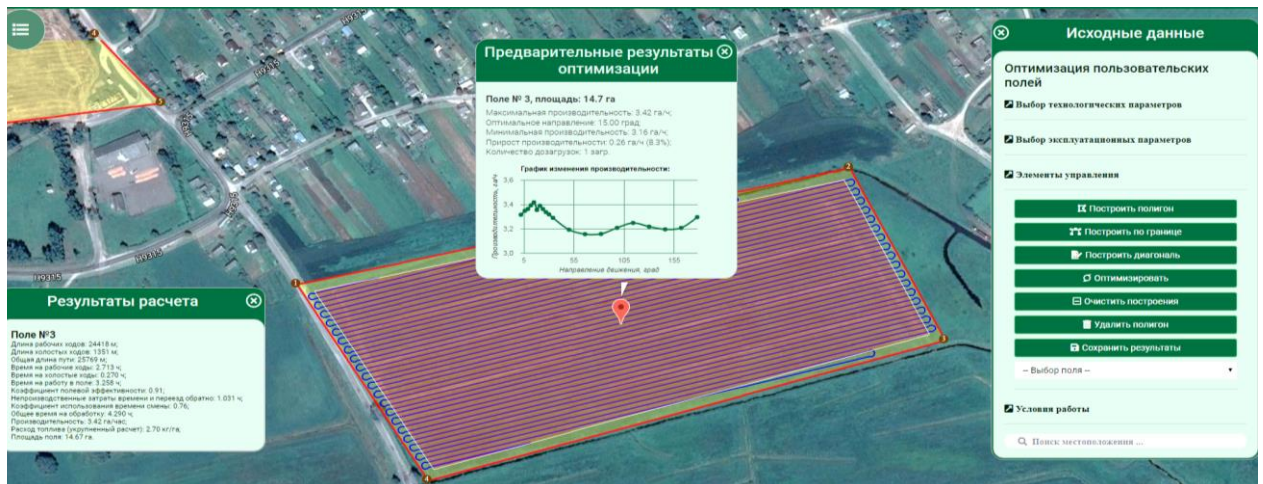


Рисунок 5. Вид пользовательского интерфейса алгоритма оптимизации траектории движения машинного агрегата



Рисунок 6. Вид пользовательского интерфейса расчета технологической операции при составлении плана работ