



УДК 631.152



DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11

## Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве

**Андрей Юрьевич Измайлов**,  
доктор технических наук,  
академик Российской академии наук, директор;  
**Яков Петрович Лобачевский**, доктор технических наук,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
главный научный сотрудник;  
**Вячеслав Кузьмич Хорошенков**,  
кандидат технических наук, заведующий

лабораторией. e-mail; vim-avt@rambler.ru;  
**Игорь Геннадьевич Смирнов**,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
ведущий научный сотрудник;  
**Николай Тимофеевич Гончаров**,  
старший научный сотрудник;  
**Елена Самуиловна Лужнова**,  
научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

На современном этапе развития производства сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с постоянным давлением со стороны рынка. (*Цель исследований*) Оптимизация управления сельскохозяйственным производством путем внедрения новейших технологий, снижения расходов и более эффективного управления. (*Материалы и методы*) Создание централизованной унифицированной автоматизированной информационной системы управления мобильными агрегатами и стационарными процессами сводится к следующим аспектам: автоматизация технологического процесса с увязкой определения местоположения любого мобильного агрегата на поле (машинно-тракторного агрегата, комбайна, транспортного средства или стационарного объекта) передача интегрированных технологических параметров на сервер диспетчерского центра, преобразование этих параметров в форму удобную для предоставления технологу, агроному, руководящему звену предприятия; передача управляющих команд по корректировке технологического процесса исполнителям. (*Результаты и обсуждение*) Разрабатываемые системы земледелия нового поколения направлены на обеспечение уровня продуктивности агроценозов с высоким коэффициентом полезного действия вложенных средств и использования ландшафтного потенциала. Продуктивность растений зависит прежде всего от обеспеченности почв элементами минерального питания с оптимальным их соотношением на каждом элементарном участке обрабатываемого поля, а также от мероприятий по защите растений. (*Выводы*) Повышение производства и снижение себестоимости сельхозпродукции не могут быть осуществлены без внедрения новейших информационных автоматизированных систем управления производственными процессами на базе сетевых технологий сбора, накопления, анализа и выработки оптимальных управленческих решений. Большое значение в сельскохозяйственном производстве придается степени машиноиспользования, а также ритмичности и согласованности производственных процессов.

**Ключевые слова:** средства автоматизации, роботизация и информатизация, цифровые технологии, технологические процессы в полеводстве, сельскохозяйственные агрегаты.

■ **Для цитирования:** Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Смирнов И.Г., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. 3. С. 4-11. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11

## Optimization of Technological Process Management in Plant Growing

**Andrey Yu. Izmailov**, Dr.Sc. (Eng), Member of the Russian Academy of Sciences, Director;  
**Yakov P. Lobachevsky**, Dr.Sc. (Eng), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher;

**Vyacheslav K. Khoroshenkov**,  
PhD (Eng), Head of the Laboratory;  
**Igor G. Smirnov**, PhD (Agri), Leading Researcher;  
**Nikolai T. Goncharov**, Senior Research Engineer;  
**Yelena S. Luzhnova**, Research Engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation. e-mail; vim-avt@rambler.ru

**Abstract.** At the current development stage of agricultural production, agricultural enterprises are faced with precedent pressure from the market. (*Research of purpose*) Optimize the control parameters of agricultural production by introducing



the latest technologies, reducing costs and ensuring more efficient production management. (*Materials and methods*) The elaboration of a centralized unified automated information management system for mobile units and stationary processes incorporates the following components: Automation of the technological process with the possibility of locating every mobile machine, tractor, combiner harvester, any other vehicle, or fixed object in the field; Transferring integrated process parameters to the dispatch center server, transforming these parameters into a convenient form for technologists, agronomists, and managerial staff; Transferring control commands to adjust the process by its performers (operators). (*Results and discussion*) The authors have developed agricultural production systems of a new generation to ensure the productivity level of agrocenoses with high efficiency of invested funds and the use of landscape capacity. The basic prerequisite here is that the productivity of plants depends, first of all, on the soil content of mineral nutrients with their optimum ratio in each elementary field section, as well as a set of crop protection measures. (*Conclusions*) Increased production and cost reduction cannot be achieved without the introduction of the latest information-based automated control systems for production processes based on network technologies for gathering, collecting, analyzing relevant data and developing optimal management decisions. Especially important in agricultural production is the intensity rate of machinery utilization, as well as the line balance and consistency of manufacturing processes.

**Keywords:** means of automation, robotization and informatization, digital technologies, technological processes in field crop cultivation, agricultural machinery units.

**For citation:** Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Smirnov I.G., Goncharov N.T., Luzhnova Ye.S. Optimization of technological process management in plant growing. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tehnologii*. 2018. 12(1): 4-11. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11. (In Russian)

**С**ельскохозяйственное производство характеризуется широким спектром технологических операций и технологических средств по выполнению полевых работ [1]. Для оптимизации управления производством необходимо разработать алгоритмы микропроцессорной многомерной унифицированной системы, которую можно было бы максимально использовать как на мобильных средствах, так и на стационарных пунктах послеуборочной обработки и хранения сельскохозяйственной продукции [2].

В аппаратно-программном комплексе нет разницы в обслуживании мобильных или стационарных объектов. Все сводится к обработке аналоговой, дискретной или частотной информации от соответствующих датчиков, передаче управляющих команд на исполняющие устройства, и передаче интегрированных показателей технологического процесса на сервер диспетчерского центра для дальнейшей обработки и архивации.

**Цель исследований** – оптимизация управления сельскохозяйственным производством путем внедрения новейших технологий, снижения расходов и более эффективного управления.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Создание централизованной унифицированной автоматизированной информационной системы управления мобильными агрегатами и стационарными процессами сводится к следующим аспектам:

- автоматизация технологического процесса с увязкой определения местоположения мобильного агрегата на поле: будет ли это машинно-тракторный агрегат, комбайн, транспортное средство или стационарный объект;
- передача интегрированных технологических

параметров на сервер диспетчерского центра, преобразование этих параметров в форму, удобную для предоставления информации технологу, агроному, руководящему звену предприятия;

- передача управляющих команд по корректировке технологического процесса исполнителям.

Такая система управления позволяет совершенствовать организационную модель предприятия, структуру производственных и управленческих подразделений, функцию обработки информации, выработку управленческих решений, доведение их до исполнителей, что в итоге повышает эффективность технологических процессов за счет ритмичности работы, оптимальной загруженности производственных мощностей, быстрого устранения аварийных ситуаций агрегатов, машин и отдельных процессов, протекающих при выполнении технологических операций.

На *рис. 1* представлена блок-схема автоматизированных технологий производства зерновых, технических овощных культур и картофеля.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве резко возросли требования к гибкости производства и к оперативности принятия управленческих решений, что в свою очередь обуславливает необходимость интеллектуализации и информатизации процессов управления [3]. А для этого необходимо решать следующие задачи:

- мониторинг всех технологических процессов сельскохозяйственного производства;
- поддержка принятия управленческих решений на базе математического моделирования и использования информационно-аналитических систем;
- экспертная оценка принимаемых решений и их оптимизация.

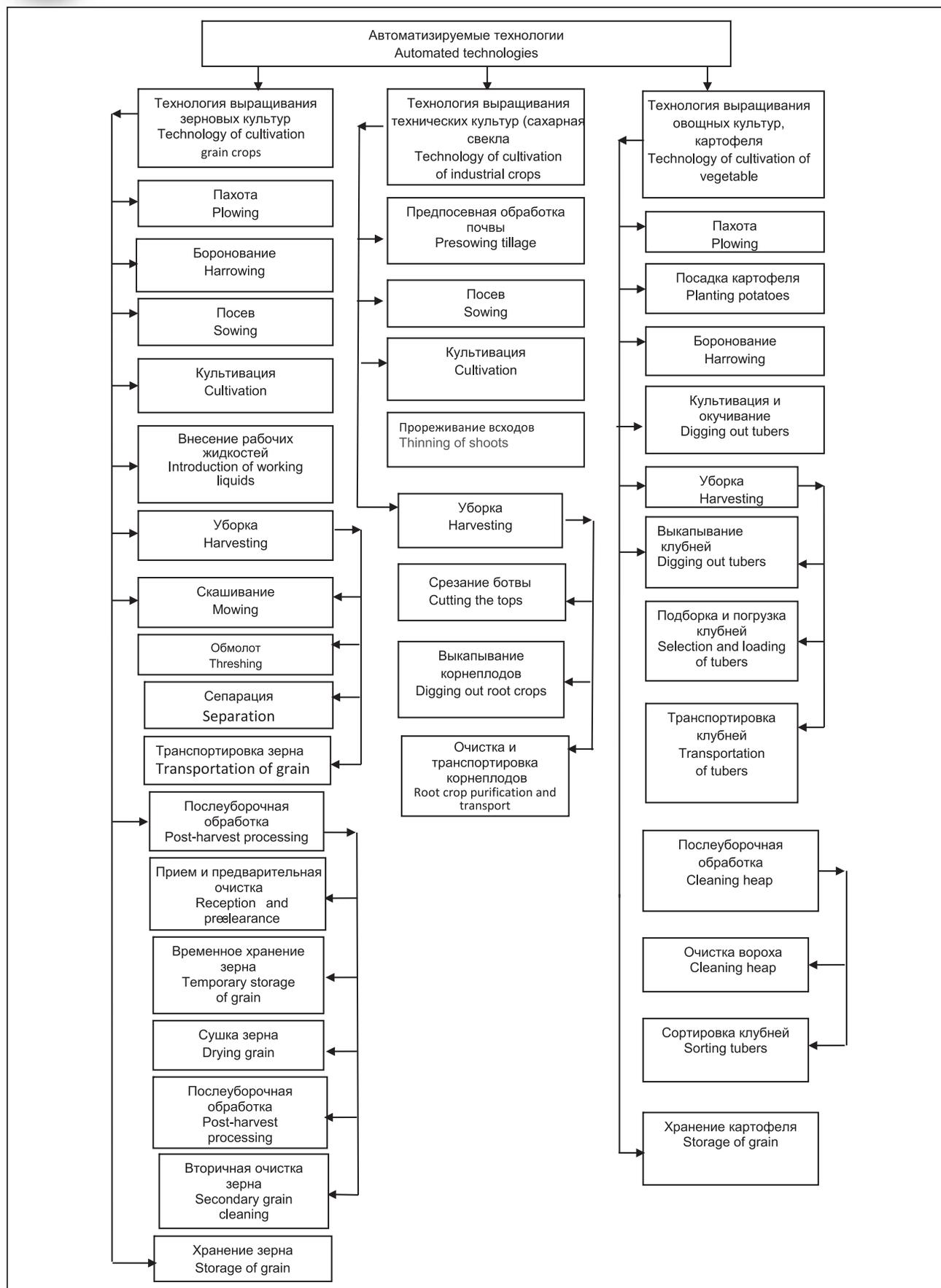


Рис.1. Блок-схема автоматизированных технологий в растениеводстве

Fig. 1. Block diagram of automated technologies in plant growing



Сбор и анализ поступающей информации обо всех технологических процессах сельскохозяйственного производства в реальном времени, выявление узких мест производства, аварийных ситуаций, непроизводительных простоев оборудования и мобильных средств должны базироваться на использовании цифровых технологий, мехатроники, на разработке оптимальных алгоритмов высокоскоростных потоков информации и их математического обеспечения с учетом быстроразвивающихся микропроцессорных средств [4].

Системные аппаратные и программные средства современных автоматизированных систем позволяют создавать условия для решения самых разнообразных проблем – организационных, технических, финансовых, психологических, в том числе и экономических, и предоставлять оперативную и достоверную информацию о состоянии производства, необходимую для автоматической генерации ключевых показателей и принятия оптимальных управленческих решений.

Аппаратные и программные средства, выпускаемые отечественной промышленностью и зарубежными фирмами для систем автоматизации, объединяют в своем составе:

- программируемые контроллеры;
- системы комплексного управления;
- станции распределенного ввода-вывода;
- модульное программное обеспечение;
- устройства и системы человеко-машинного интерфейса;
- компоненты различной связи;
- Web-технологии;
- системы управления непрерывными процессами;
- системы регулирования и управления приводами;
- системы так называемого машинного зрения.

В этой связи чрезвычайно важное значение приобретает разработка математических моделей и алгоритмического обеспечения, адекватно отражающих такие технологические процессы, как обработка почвы, посев, внесение удобрений, уборка урожая, послеуборочная обработка и хранение сельхозпродукции [5].

Применение математического аппарата в решении задачи оптимизации управления сельскохозяйственного производства сводится к поиску экстремума целевого функционала по заданному критерию эффективности всего предприятия.

Включение искусственного интеллекта в состав управляющего звена позволяет перейти к управлению объектом (почва, растение, машина, технологии) не по отклонению какого-либо из параметров или группы параметров от принятой нормы, а в соответствии с функцией назначения объекта управления и ограничениями, накладываемыми экологическими

требованиями, сезонным характером работ, характером воздействия внешних факторов [6, 7].

Вместе с базой данных (БД), полученной из множества источников различных систем, информация накапливается и консолидируется в едином хранилище данных, создавая интегрированную информационную среду для решения широкого спектра задач, включая расчет ключевых показателей, позволяющих осуществлять анализ производственных и технологических ситуаций.

Комплексный системный анализ производственных и технологических ситуаций в сельскохозяйственном производстве включает:

- определение информационных требований пользователей, то есть выявление формы, в которой информация должна быть предоставлена агроному, зоотехнику, инженеру, механику, оператору;
- определение неизвестных факторов влияния на производственный процесс;
- выработку рекомендаций по оптимальному управлению производственными процессорами и ликвидации простоев оборудования;
- визуализацию результатов анализа хозяйственной деятельности сельхозпредприятий, подготовку отчетов по производству и реализации продукции.

Комплексная автоматизированная информационная система управления всеми технологическими процессами в сельскохозяйственном производстве должна решать следующие задачи:

- прием технологических данных при проведении полевых работ, при послеуборочной обработке и хранении сельхозпродукции;
- передача технологических данных в производственно-диспетчерскую службу, а также их сбор и хранение в централизованной базе данных;
- передача управляющих команд с вышестоящих уровней общей системы управления на нижестоящий уровень;
- занесение в архив в общедоступном формате данных обо всех показателях;
- формирование отчетов и сводок.

Информационная увязка технологических и технических средств позволяет обеспечить максимальное машиноиспользование энергетических и транспортных средств, а также машин общего назначения.

Для решения такой задачи необходима разработка и создание базы данных, состоящей из следующих разделов и подсистем:

1. *Нормативно-справочная и инфраструктурная подсистема* (администраторы системы) подразумевающая ведение нормативной информации по:
  - паспортизация полей в оцифрованном виде;
  - сельхозкультурам, включая различные сорта, стадии их развития (жизненный цикл) и оптимальные сроки;
  - севообороту;

- типам удобрений, средствам защиты растений, СЗР;
- типам почв;
- инфраструктуре агрофирмы: отделения, дороги, постоянные хранилища, склады ГСМ, машинные парки, ремонтные мастерские, рациональные пути, соединяющие пары объектов;
- типам используемых тракторов, транспортных средств, комбайнов, погрузчиков, навесных орудий, по регламентам ТО;

- сельхозработам и сельхозоперациям,
- а также паспортизация полей в цифровом виде.

2. Подсистема сбора первичной информации об объекте управления (администратор системы, диспетчер) – сбор и обработка первичной информации:

- автоматически снимаемой с датчиков мобильных объектов;
- снимаемой с объекта управления вручную;
- получаемой с помощью анализа проб и аппаратуры;

- а также срочная доставка сообщений о непредвиденных событиях лицам, принимающим решения (автоматическая доставка диспетчерам и руководству предприятия).

3. Подсистема планирования работ растениеводства и соответствующего им ресурсного обеспечения (планировщики-агрономы, механики, снабженцы) – планирование:

- использования полей под выращивание сельхозпродукции;

- годового выполнения плана сельхозработ для каждого поля и всех стадий проведения агрокомпании;

- использования операций для выполнения сельхозработ по каждому полю и всем стадиям проведения агрокомпании;

- потребностей в машинных ресурсах для выполнения сельхозработ с разделением по типам машин и срокам их задействования;

- потребности в удобрениях, СЗР, ГСМ, сроков их закупки и транспортировки в хранилища;

- оценка требуемых объемов использования собственных машинных ресурсов, семян, удобрений, СЗР, ГСМ на посев, выращивание сельхозкультуры, уборку урожая;

- а также составление оперативного исполнительного плана выполнения работ с привязкой к полям и с учетом планируемых операций;

- формирование нарядов на использование техники и накладных для получения семян, удобрений, СЗР, ГСМ, запчастей;

- корректировка исполнительного плана выполнения работ (с учетом информации о состоянии почв, посевах, объемах выполненных работ) для поля в условиях посевной кампании;

- комплекс задач по планированию перевозок урожая.

4. Подсистема оперативного диспетчерского

управления работами и операциями растениеводства и соответствующим им ресурсным обеспечением (диспетчеры-агрономы):

- мониторинг качества выполнения сельхозопераций и возможностей их выполнения;

- выработка вариантов решений (реакций) на непредвиденные события (в том числе и корректировка исполнительного плана).

5. Подсистема оценки состояния объектов управления – оценка:

- почвы;

- посевов в поле;

- объемов выполнения работ, включая сельскохозяйственные работы и работы по восстановлению ресурсов;

- текущих запасов ресурсов (удобрения, семена, СЗР, ГСМ, техника, свободные объемы хранилищ, персонал);

- потерь при хранении сельхозпродукции;

- технической базы стационарных объектов.

Принципы контроля и управления многомерной унифицированной автоматизированной системой включают способы оценки состояния технологического процесса как объекта контроля и управления, принятие решения о соответствии этого управления установленным требованиям.

Для реализации этих принципов необходимы алгоритмы контроля и управления. В основу таких алгоритмов следует положить зависимости, связывающие статистику показателей эффективности функционирования технологических процессов с допусками и с вероятностями их сохранения или превышения [8]. Сельскохозяйственные агрегаты и их комплексы работают в условиях изменяющихся внешних воздействий [9]. Главные из них, кроме климатических факторов, – физико-механические свойства почвы (влажность, плотность, гранулометрический состав); рельеф, дорожные условия, определяющие затраты энергии на передвижение агрегата и обработку почвы; свойства растений (урожайность и др.), влияющие на энергозатраты и качество работы машин; изменение массы агрегата и его технического состояния во время выполнения технологического процесса. Функционирование агрегата обычно рассматривают как реакцию на входные возмущающие и управляющие воздействия. На рис. 2 представлена обобщенная структурная схема пахотного агрегата, представляющего собой один из объектов полеводческого подразделения.

К математической модели объекта автоматического регулирования загрузки двигателя трактора на схеме относятся передаточные функции по каналу управления –  $W_{U1}(p)$ ,  $W_{U2}(p)$ ,  $W_{U3}(p)$ ,  $W_{U4}(p)$ , по каналу возмущения –  $W_{F1}(p)$ , по перекрестным связям внутри объекта –  $W_{П1}(p)$ ,  $W_{П2}(p)$ ,  $W_{П3}(p)$ , и между объектами –  $W_{П4}(p)$  и  $W_{П5}(p)$ .

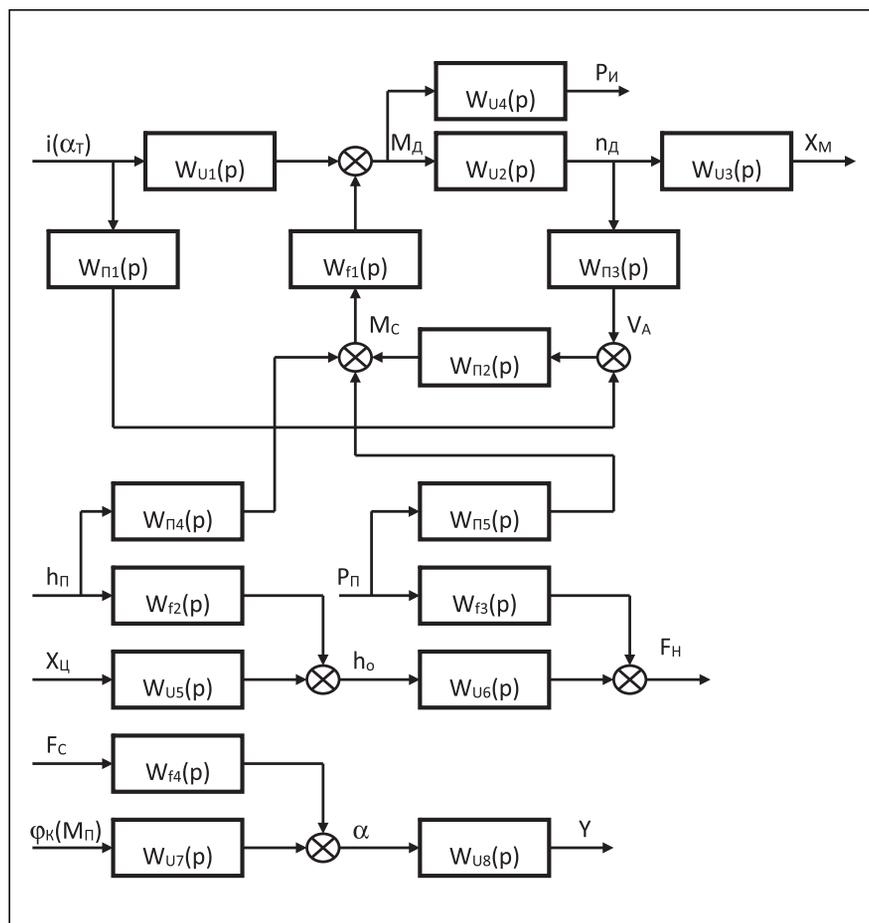


Рис. 2. Обобщенная структурная схема пахотного МТА как многомерного объекта автоматического регулирования

Fig. 2. Generalized structural scheme of ploughing MTA as a multidimensional object of automatic control

К математической модели объекта автоматического регулирования глубины обработки почвы на схеме относятся передаточные функции по каналу управления –  $W_{U5}(p)$ ,  $W_{U6}(p)$ , по каналам возмущения –  $W_{F2}(p)$ ,  $W_{F3}(p)$ , по перекрестным связям –  $W_{P4}(p)$ ,  $W_{P5}(p)$ .

К математической модели объекта автоматического вождения МТА на схеме относятся передаточные функции по каналу управления –  $W_{U7}(p)$ ,  $W_{U8}(p)$  и передаточная функция по каналу возмущения –  $W_{F4}(p)$ .

Модель функционирования агрегата (контроль и автоматизация работы) представляет в виде системы, на входе которой действуют векторные функции условий работы  $X=[x_1(t), \dots, x_n(t)]$ , управления  $U=[u_1(t), \dots, u_m(t)]$  и внутренних связей  $\Phi = [\varphi_1(t), \dots, \varphi_l(t)]$ . Это значит, что на агрегат действуют  $n$  возмущающих,  $m$  управляющих и  $l$  внутренних воздействий.

Выходные переменные образуют векторную  $k$ -мерную функцию  $Y=[y_1(t), \dots, y_k(t)]$ , определяющую технологические, энергетические, эксплуатационные и другие показатели работы при заданных векторах  $X$ ,  $U$  и  $\Phi$ . Число составляющих  $n$ ,  $m$ ,  $l$  и  $k$  век-

торов зависит от типа агрегата и степени учета условий работы [10].

Для оперативного контроля эффективности функционирования технологического процесса, определяемого реализацией  $y(t)$  на конкретном периоде  $T$ , необходимо непрерывно иметь информацию о реализации  $y(t)$ , находить статистику этой реализации и сравнивать ее с допусками при заданных допуске  $\Delta y$  и вероятности  $P_{\Delta y}$ .

Такой алгоритм контроля эффективности функционирования технологического процесса аппаратно реализовать весьма сложно, так как в процессе контроля нужно формировать среднее значение реализации  $y(t)$ , с которым следует сравнивать текущее значение параметра контроля. Целесообразнее использовать в качестве базы отсчета отклонение ординат реализации не среднее значение  $m_y$  реализации  $y(t)$ , а настроечное (номинальное) значение  $y_n$ . При заданном допуске  $\Delta y_n$  на отклонение  $y(t)$  показатели от настроечного значения  $y_n$  и обобщенная оценка  $P_{\Delta n}$  аппаратно реализуются

довольно просто, поскольку значения ординат реализации  $y(t)$  непосредственно сравниваются с  $y_n$ . За определенный период контроля  $T$  в измерительном блоке за счет математического ожидаемого  $m_y$  формируются оценки:

$$P_{\Delta n}^+ = T_{\Delta n}^+ / T; P_{\Delta n}^- = T_{\Delta n}^- / T; P_{\Delta n} = P_{\Delta n}^+ + P_{\Delta n}^-$$

где  $P_{\Delta n}$  – общая оценка вероятности нахождения реализации  $y(t)$  в поле допуска.

Разработан также алгоритм вывода информации при обработке почвы и по другим технологическим операциям посева, при внесении жидких комплексных удобрений (ЖКУ) и СЗР, по функционированию мобильного сельскохозяйственного агрегата.

На рис. 3 представлен алгоритм управления зерноочистительной машиной.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Разрабатываемые системы земледелия нового поколения направлены на обеспечение уровня продуктивности агроценозов с высоким коэффициентом полезного действия вложенных средств и использования ландшафтного потенциала, при этом продуктивность растений зави-

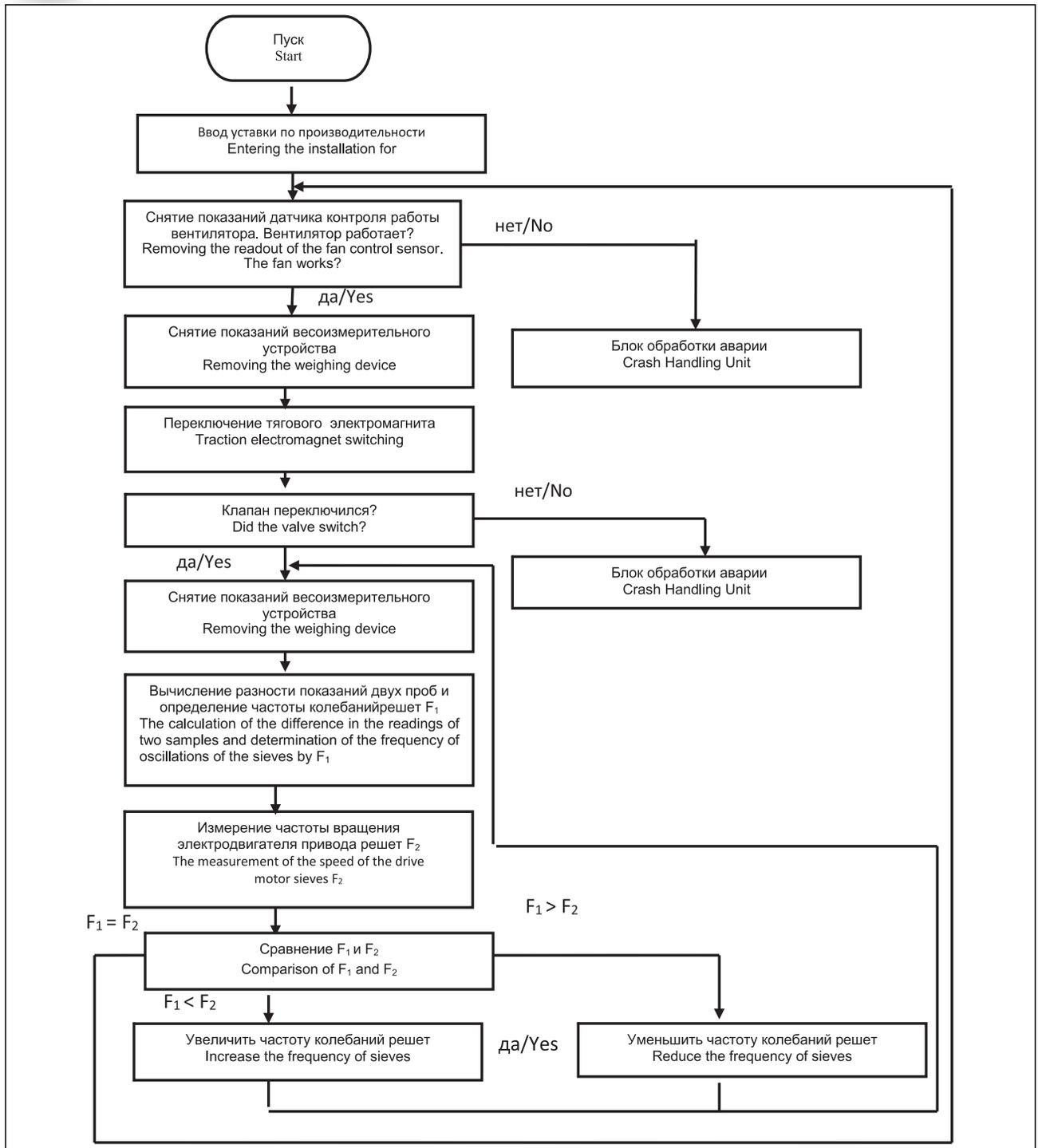


Рис. 3. Алгоритм программы автоматического контроля и регулирования работы зерноочистительной машины  
 Fig. 3. Program algorithm for automatic control and regulation of a grain cleaning machine

сит, прежде всего, от обеспеченности почвы элементами минерального питания с оптимальным их соотношением на каждом элементарном участке обрабатываемого поля, а также от мероприятий по защите растений [10].

### Выводы

Интенсификация производства и снижение себестоимости сельхозпродукции не могут быть осуществлены без внедрения новейших информаци-

онных автоматизированных систем управления производственными процессами на базе сетевых технологий сбора, накопления анализа и выработки оптимальных управленческих решений.

Акцент на количественном анализе производственной ситуации позволяет перенести центр тяжести процедуры выработки проекта решения с логико-интуитивных методов на глубоко формализованную базу вычислительной техники.



### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N 6. С. 6-10.
2. Kargar AHB Automatic weed detection system and smart herbicide sprayer robot for corn fields. / Kargar AHB, Shrizadifar AM// *RSI/ISM Int Conf on Robotics and Mechatronics*; February. 2013. 13-15.
3. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А., Алексеев И.С., Лонин С.Э., Гончаров Н.Т. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 3-9.
4. Jensen K. A low cost, modular robotics tool carrier for precision agriculture research. / Jensen K, Nielsen S.H., Jorgensen R.N., Bogild A., Jacobsen N.J., Jorgensen O.J., Hansen C.L.J. // *Proc Int Conf on Precision Agriculture*; July – 2012.
5. Krishnaswamy R. Aravind, Purushothaman Raja and Manuel Pérez-Ruiz Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review / *Spanish journal of agricultural research*. 15(1): March 2017. 3-16.
6. Grimstad L. Initial field-testing of Thorvald, a versatile robotic platform for agricultural applications / Grimstad L., Phan HNT, Pham CD, Bjugstad N, From PJ// *Proc of the IROS Workshop on Agri-Food Robotics*. October 2015. 23-29.
7. Устойчивая оптимизация сельскохозяйственного производства Basil Manos, Parthena Chatzinikolaou, Fedra Kiomourtzi ICESD 2013: January 19-20. Dubai, UAE.
8. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированная система управления посевом и внесением удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N4. С. 9-12.
9. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М. Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N1. С. 11-14.
10. Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С., Мальцев Н.В. Автоматизация управления машинно-тракторным агрегатом с использованием навигационных систем // *Техника в сельском хозяйстве*. 2010. N 3. С. 19-23.

### REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proiz-vodstva na period do 2020 goda [The system of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. N 6: 6-10. (In Russian)
2. Kargar AHB Automatic weed detection system and smart herbicide sprayer robot for corn fields. / Kargar AHB, Shrizadifar AM// *RSI/ISM Int Conf on Robotics and Mechatronics*; February. pp: 13-15. 2013.
3. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseyev I.S., Lonin S.E., Goncharov N.T. Sredstva avtomatizatsii dlya upravleniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Means of automation for controlling agricultural machinery] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N3: 3-9. (In Russian)
4. Jensen K. A low cost, modular robotics tool carrier for precision agriculture research. / Jensen K., Nielsen S.H., Jorgensen R.N., Bogild A., Jacobsen N.J., Jorgensen O.J., Hansen C.L.J. // *Proc Int Conf on Precision Agriculture*; July – 2012.
5. Krishnaswamy R. Aravind, Purushothaman Raja and Manuel Pérez-Ruiz Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review / *Spanish journal of agricultural research*. 15(1): March 2017. 3-16.
6. Grimstad L. Initial field-testing of Thorvald, a versatile robotic platform for agricultural applications. / Grimstad L., Phan HNT, Pham CD, Bjugstad N, From PJ// *Proc of the IROS Workshop on Agri-Food Robotics*. October 2015. 23-29.
7. Ustoychivaya optimizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Sustainable optimization of agricultural production] Basil Manos, Parthena Chatzinikolaou, Fedra Kiomourtzi ICESD 2013: January 19-20. Dubai, UAE.
8. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya posevom i vneseniyem udobreniy // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. N4: 9-12. (In Russian)
9. Yelizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M. Shevtsov V.G. Iskhodnyye trebovaniya na tekhnologicheskiye operatsii v rasteniyevodstve [Initial requirements for technological operations in plant cultivation] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. N1: 11-14. (In Russian)
10. Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Luzhnova Ye.S., Mal'tsev N.V. Avtomatizatsiya upravleniya mashinno-traktornym agregatom s ispol'zovaniyem navigatsionnykh sistem [Automation of the control of a machine-tractor unit with the use of navigation systems] // *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2010. N3: 19-23. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 03.04.2018

Статья принята к публикации 27.04.2018

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.