



УДК 631.354.2

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-9-16

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Жалнин Э.В.<sup>1</sup>,  
докт. техн. наук;

Годжаев З.А.<sup>1</sup>,  
докт. техн. наук;

Флорентцев С.Н.<sup>2\*</sup>,  
канд. техн. наук

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ООО «Русэлпром», ул. Нижегородская, 32/15, Москва, 109029, Российская Федерация, \*e-mail: florentsev@ruselprom.ru

Мониторинг различных путей повышения производительности сельхозмашин в рамках развития интеллектуального сельскохозяйственного производства показал, что традиционные направления увеличения энергонасыщенности, габаритов рабочих органов, скорости движения агрегатов почти исчерпали свои ресурсные возможности. К тому же установили, что даже уже созданная техника не полностью реализует свои потенциальные возможности из-за влияния человеческого фактора. Оператор не может оперативно реагировать на постоянно меняющиеся параметры агрофона во время движения агрегата. Предложили автоматизировать управление большинством технологических операций с помощью устройств, которыми снабжается полевой агрегат. Провели исследования, которые показали реальную возможность создания такой автоматизированной системы управления и регулирования. Установили, что если исключить оператора при выполнении основных технологических операций, то можно повысить производительность агрегата с 10 до 50 процентов в зависимости от его типа. Дали рекомендации по структуре приоритетных автоматических устройств и сформулировали основные концептуальные принципы интеллектуальных комбайнов. Показали, что они основаны на трех основополагающих факторах: электроприводе рабочих органов, включая трансмиссию; систем автоматических устройств; компьютеризации управления машиной и режимами ее работы.

**Ключевые слова:** система оптимального управления комбайном, производительность, захват жатки, автоматизация контроля, скорость движения.

■ **Для цитирования:** Жалнин Э.В., Годжаев З.А., Флорентцев С.Н. Концептуальные принципы интеллектуальных сельскохозяйственных машин на примере зерноуборочного комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №6. С. 9-16.

## CONCEPTUAL PRINCIPLES OF INTELLIGENT AGRICULTURAL MACHINES IN THE CASE OF COMBINE HARVESTER

Zhalnin E.V.<sup>1</sup>,  
Dr. Sc. (Eng.);

Godzhaev Z.A.<sup>1</sup>,  
Dr. Sc. (Eng.);

Florentsev S.N.<sup>2\*</sup>,  
Ph. D. (Eng.)

<sup>1</sup>Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1-st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup>ООО Ruselprom, Nizhegorodskaya St., 32/15, Moscow, 109029, Russian Federation, \*e-mail: florentsev@ruselprom.ru

Monitoring of different ways to increase the productivity of agricultural machinery under development of intelligent agricultural production shown that traditional directions of increasing the concentration of energy, sizes of working elements and running speed almost reached their resources capacity. Besides even power of the existing machines is not fully used because of the influence of the human factor. An operator cannot quickly react to constantly changing agricultural background parameters while the machine is in motion. The authors offered to automate the management of the majority of all technological operations using devices that the machinery is supplied with. Research revealed the real opportunity to establish an automated management and regulatory system. If an operator is excluded then it is possible to increase efficiency of a machine from 10 to 50 percent depending on its type. Some recommendations on the structure of the priority of automatic devices were given and the main vision principles of intelligent combine harvesters were formulated. They

are based on three underlying factors which include electric drives for working tools involving transmission; automatic equipment systems; computerization of controlling machine and its operation modes.

**Keywords:** Harvester optimal control system; Productivity; Harvester operating width; Harvester header Control automation; Motion speed.

■ **For citation:** Zhalnin E.V., Godzhaev Z.A., Florentsev S.N. Conceptual principles of intelligent agricultural machines in the case of combine harvester. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*.2017; 6: 9-16. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-9-16. (In Russian)

**В** современной технической литературе все чаще стали применять новое понятие – интеллектуальное сельское хозяйство [1-4]. С ним связывают будущее развитие агропромышленного сектора экономики. Это обусловлено тремя объективными обстоятельствами:

- традиционные, технологические и технические решения уже не могут обеспечить требуемый рост производительности труда и качества продукции;
- концепция пооперационной оптимизации исчерпала себя, и нужны более системные методологические и технологические решения создания техники;
- глобальная компьютеризация производства обязывает применять высокоавтоматизированные процессы.

Это новое направление развития агропромышленного производства включает следующие разделы: технологизацию сельскохозяйственного производства; общемировоззренческие принципы точного земледелия [5]; компьютеризацию производства; системное управление сельхозработами; мониторинг зональных оценочных критериев работы машин с оперативным контролем качества выполнения работ; дифференцированное воздействие на агросреду; создание интеллектуальных (думающих) машин и многое другое [6, 7].

Главными исполнителями интеллектуального сельскохозяйственного производства служат интеллектуальные машины и комплексы машин. Это высокоавтоматизированные технические средства, которые оптимизируют свое внутреннее и внешнее состояние (расположение) по заданным программам обеспечения оптимальной производительности и требуемого качества работы в зависимости от изменяющихся параметров агрофона.

**Цель исследований** – мониторинг известных путей повышения производительности сельхозмашин на примере зерноуборочных комбайнов как самых сложных и дорогих из них, поиск новых резервов повышения производительности труда, что послужит основанием для формирования основных принципов создания интеллектуальных машин.

**Материалы и методы.** Применены информационные методы исследования, включая аналитические, статистические методы обработки и анализа опытных данных, содержащихся в протоколах ис-

пытаний машин, а также методы интерполяции и экстраполяции статистических зависимостей.

**Результаты и обсуждение.** Мониторинг различных этапов создания и работы современных сельскохозяйственных машин, особенно сложных мобильных технологических агрегатов, выявляет три объективные особенности:

1. Почти все сельхозмашины, в том числе и комбайны, разрабатывают с ориентацией на высокий профессионализм оператора (механизатора, комбайнера), и большинство функций управления рабочими органами машины переданы ему.

Это приводит к тому, что одна и та же машина, но управляемая разными операторами, имеет разную производительность. К примеру, производительность комбайнеров-передовиков на 30-40% выше. Но таких профессионалов мало. В итоге хозяйственный парк машин работает ниже своих потенциальных возможностей. Недоиспользование этого потенциала в целом по парку машин составляет 20-30%, а в ряде хозяйств доходит до 40%. Это приводит к большим производственным затратам и увеличению себестоимости продукции. Ведь в этом случае работает «система», а не отдельные передовики.

2. При выполнении технологического процесса работы, к примеру зерноуборочного комбайна, объективно возникают такие сочетания природно-климатических, агроландшафтных и технологических факторов, оптимизировать которые комбайнер не может ввиду их быстротечности и многообразия. Обычный рядовой комбайнер только с очень малой вероятностью выберет единственно правильное решение, поэтому работает в основном на неоптимальных режимах.

К примеру, оптимальная подача хлебной массы в комбайн должна приблизительно соответствовать паспортной пропускной способности комбайна (не ниже 95%). Однако подача хлебной массы зависит от трех факторов: ширины захвата жатки, урожайности убираемой культуры и скорости движения комбайна. Все эти величины вероятностные. Комбайнер, выбирая скорость движения комбайна, ориентируется примерно на среднюю урожайность, которая, к сожалению, имеет коэффициент вариации 20-30% от среднего значения. Таким образом, чтобы не перегрузить молотилку хлебной массой, ком-



байнер вынужден работать на скоростях ниже паспортных. Никаких средств контроля за величиной подачи массы в комбайне нет. Средняя скорость движения комбайна равна примерно 2 м/с. Среднее время срабатывания зрительной и нервной системы комбайнера на внешний раздражитель составляет около 5 с. То есть пока комбайнер получит сигнал и примет решение комбайн пройдет 10 м. Но команда комбайнера не выполняется мгновенно. Любой гидромеханизм имеет время запаздывания – 1,5-2 с. За это время комбайн пройдет еще 3-4 м, итого 13-14 м. При этом комбайн будет работать уже на другом агрофоне, который может потребовать новых режимов работы и так далее. Поэтому комбайнер настройкой комбайна на его рабочем ходу в принципе не занимается, а работает с меньшим захватом жатки, на скоростях ниже оптимальной, лишь бы не перегрузить молотилку хлебной массой. Отсюда и снижение производительности комбайна по сравнению с паспортной.

Таким образом первое обстоятельство обуславливает привязку конструкции комбайна к оператору, а второе ограничивает производительность комбайна индивидуальными психологическими особенностями оператора.

3. Во многих крупнотоварных хозяйствах урожайность зерновых культур объективно растет. Новые сорта, передовые технологии производства, оптимальные севообороты привели к тому, что в ряде хозяйств на больших площадях (6-8 тыс. га) средняя урожайность зерна доходит до 6 т/га, а на отдельных полях до 8-10 т/га. Для уборки хлебов такой урожайности нужны комбайны высокой производительности – не менее 12-14 кг/с. Эти комбайны – дорогие. Позволить им работать с недогрузкой нельзя, иначе они себя не оправдают по критерию «цена–прибыль». Эффективность использования их пропускной способности должна быть не ниже 0,90-0,95. Этого не может обеспечить комбайнер по естественным ограничениям на реакцию, работоспособность, продолжительность рабочего дня и т.п.

Вышеназванные объективные особенности работы сельхозмашин (комбайнов) в целом характерны для сельхозпроизводства из-за инвариантности параметров агрофона. Выход найден в автоматизации управления сложными объектами.

На этот путь должно встать отечественное сельхозмашиностроение. Первые шаги сделаны. К примеру, на комбайны Ростсельмаша устанавливают систему электронных блоков контроля и фиксации параметров и режимов работы двигателя, молотилки комбайна и скорости его движения. Система *Adviser* контролирует до 40 параметров. Немецкий комбайн *Lexion-780* также имеет весьма высокий уровень автоматизации и т.д.

Медленно, но постепенно внедряются спутниковые навигационные системы *GPS* и ГЛОНАСС [1]. Они контролируют скорость движения комбайна, намолот зерна, убранную площадь, качество зерна, расход топлива и др. Но это все констатирующая информация. Система оптимального управления комбайна разорвана: нет исходного сигнала об изменяющихся условиях уборки, переработанного сигнала управления и обратной связи с органом управления. Опять все замыкается на комбайнере. Он должен осмыслить 40 сигналов системы *Adviser*, переработать их, принять решение и дать сигнал органам управления, причем на скорости движения комбайна 2 м/с, смотря вперед, не сбиваясь с курса. Конечно, оперативно он этого сделать не может, в результате снижается производительность комбайна, не контролируется качество работы.

Вышеприведенные особенности работы зерноуборочных комбайнов приводят к необходимости существенной их модернизации с постепенной передачей всех функций ручного управления системе автоматического управления комбайном (ИНТЕЛЛ-САУК).

Методологическими предпосылками создания такого комбайна стали следующие положения:

- крупнотоварное производство зерна требует применения комбайнов класса 12-14 кг/с и более для уборки злаковых культур, риса и кукурузы с урожайностью зерна 60-150 ц/га;

- условия высокоэффективного использования комбайнов как самых дорогих мобильных машин должны быть заложены в их конструкцию на стадии создания;

- необходимость полного использования потенциальных возможностей комбайнов по ширине захвата жатки, скорости движения, энергонасыщенности, оптимизации режимов функционирования рабочих органов на основе автоматизации контроля и управления технологическим процессом работы комбайна;

- потребность в применении более прогрессивных методов и средств передачи энергии рабочим органам комбайна с учетом эволюции приводов;

- обеспечение высокой проходимости и экологической безопасности воздействия ходовой системы на почву [8];

- необходимость снижения трения в основных сопряжениях рабочих органов и их приводах, что позволиткратно снизить затраты мощности на холостой ход и повысить удельные затраты мощности на работу комбайна;

- повышение конкурентоспособности отечественных комбайнов по производительности, расходу топлива, качеству работы и себестоимости зерна.

Названные положения играют роль социального заказа на создание нового высокопроизводи-

тельного комбайна.

Выясним возможность решения этой задачи традиционным путем увеличением мощности двигателя и габаритов рабочих органов.

Проведенные ранее исследования показали, что в выборке из 150 современных моделей комбайнов по их номинальной пропускной способности имеется наиболее тесная корреляционная связь с четырьмя параметрами комбайна: мощностью двигателя –  $N_e$  и площадями сепарации подбарабанья –  $F_n$ , соломосепаратора –  $F_c$  и решет очистки –  $F_p$ , которые определяют так называемый параметрический индекс комбайна –  $i_k$  [9]:

для классического комбайна:

$$i_k = 1/4 (N_e/32 + F_n/0,26 + F_c/1,5 + F_p/0,8), \quad (1)$$

для аксиально-роторного комбайна:

$$i_k = N/126 + 0,5(F_{nc} + F_p). \quad (2)$$

Теоретическая пропускная способность:

$$q_k = 1,83 i_k - 0,83. \quad (3)$$

Теоретическая производительность (максимальная):

$$W_T = \frac{3,6q_k}{y_3(1 + \alpha_f)}, \quad (4)$$

где  $y_3$  – урожайность зерна, т/га,  $\alpha_f$  – фактическое отношение массы соломы к массе зерна.

Масса комбайнов при  $q_k > 10$  кг/с, равна  $G_k = 1,2 q_k$ . (5)

Таким образом, рост  $q_k$  все больше ограничивают физические, габаритные и экологические факторы. К примеру, при  $q_k > 14$  кг/с эксплуатационная масса будет  $G_{экс} > 25$  т.

При дальнейшем увеличении  $q_k$  проявляется действие естественных законов роста, различных объектов (таких как «лезвие» Оккама, или логистическая функция); чем ближе к «вершине» (оптимуму), тем труднее каждый шаг приближения к ней.

Расчетные параметры комбайна пропускной способности 14 кг/с представлены в таблице 1, из которой видно, что габариты этого комбайна будут уже запредельными: длина соломотряса более 7 м, длина ротора превышает 3,5 м, длина решет очистки более 5,5 м, масса комбайна без ГСМ около 17 т, а соответственно с ГСМ и полным бункером – около 25 т, что делает нецелесообразным создание такого комбайна по имеющимся тенденциям, выраженным в статистических формулах [9].

Однако комбайн такой потенциальной производительности нужен. Рассмотрим два направления.

Первое – поиск новых принципов воздействия на хлебостой для вымолота и очистки зерна, к примеру дифференцированное воздействие (очес), уско-

Table 1		Таблица 1	
РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМБАЙНА КЛАССА 14 кг/с ПРИ ШИРИНЕ МОЛОТИЛКИ 1500 мм			
CALCULATION PARAMETERS OF HARVESTER CLASS 14 kg/s WHEN 1500 MM WIDTH OF SEPARATOR			
Параметры Parameters	Классическая схема молотилки: бильный барабан, клавишный соломотряс, 2-решетная очистка Separator classic scheme: beater drum, key straw rack, double-screen separator	Аксиальное однороторное молотильно-сепарирующее устройство с 2-решетной очисткой Axial single-rotor threshing device with double-screen separator	
Мощность двигателя, $N_e$ , л.с. Engine power, $N_e$ , h.p.	$35q_k - 25 = 465$	$42q_k - 30 = 558$	
Площадь подбарабанья, $F_n$ , м <sup>2</sup> Concave area, m <sup>2</sup>	$0,086q_k = 1,2$	$0,24q_k + 0,37 = 3,73$	
Длина ротора, $L_p$ , м при угле обхвата – 150° при диаметре 0,8 м Rotor length, $L_p$ , m (wrapping angle is 150° and diameter is 0,8 m)	1,50	4,66	
Площадь соломотряса, $F_c$ , м <sup>2</sup> Strow rack area, $F_c$ , m <sup>2</sup>	$0,72q_k + 0,78 = 10,86$	-	
Длина соломотряса, $L_c$ , м Strow rack length, $L_c$ , m	7,24	-	
Площадь очистки, $F_p$ , м <sup>2</sup> Screen separator area, $F_p$ , m <sup>2</sup>	$0,58q_k + 0,28 = 8,32$	$0,63q_k + 0,28 = 9,1$	
Длина решет, $L_p$ , м Screen length, $L_p$ , m	5,55	6,07	
Масса комбайна (с жаткой 6 м, без ГСМ), $G_k$ , т Harvester weight (with header 6 m, without petroleum, oil, lubricants), $G_k$ , t	$1,2q_k = 16,8$	$1,2q_k = 16,8$	

ренное воздействие и т.п. Но это длительный путь, требующий больших капитальных затрат на поисковые исследования.

Второе – за основу прогресса следует принять не увеличение пропускной способности, а рост эксплуатационной производительности, максимально увеличивая коэффициент использования эксплуатационного времени смены, то есть повышать эффективность машиноиспользования по всем ее составляющим. Оптимизация машиноиспользования – большой резерв повышения фактической произ-



водительности машин.

Применительно к зерноуборочному комбайну основными конструктивно-технологическими решениями для достижения его высокой фактической производительности могут быть:

- обеспечение безотказной работы;
- повышение маневренности;
- уменьшение радиуса поворота;
- увеличение рабочей и транспортной скорости;
- ускорение выгрузки зерна;
- удлинение выгрузного шнека для обеспечения выгрузки зерна на ходу агрегата;
- увеличение проходимости;
- снижение роли оператора при управлении комбайном во время работы.

Последняя составляющая имеет особое значение. Не надо увеличивать мощность двигателя, ширину захвата жатки или габариты комбайна. Достаточно поручить управление комбайном высокопрофессиональному оператору и почти в 1,5 раза увеличить производительность комбайна. А раз таких операторов недостаточно, то поручить выполнять их работу автоматизированным системам, работающим по интеллектуальной схеме: параметр агрофона – сигнал – программное устройство и выходной сигнал управления – исполнение регулировки – контроль исполнения и т.д.

Для реализации такой схемы гидромеханические приводы уже не пригодны. Они медлительны в управлении. Нужен электропривод основных рабочих органов и трансмиссии. Это следует из эволюционной истории развития приводов сельхозмашин: ручной, механический, гидромеханический, гидроэлектромеханический и электромеханический.

Имеется множество примеров применения электропривода в отдельных узлах и агрегатах комбайнов. Фирма *Fendt* (Германия) установила электропривод восьми объектов, среди них: мотовило, реверс жатки, вариатор молотильного барабана, положение решет очистки и др. Фирма *Massey Ferguson* (США) применяет электропривод для семи объектов, из них: открытие крышек зернового бункера, частота вращения вентилятора очистки, регулировка зазоров в подбарабанье, реверс наклонной камеры и др. Широко используют электропривод и другие фирмы: *Deutz Fahr* (5 объектов), *New Holland* (7 объектов), *Claas* (9 объектов), *John Deere* (6 объектов) и др. Однако привод главных рабочих органов и трансмиссии остается пока гидромеханическим, хотя ведутся работы в направлении их электрификации.

В целом должны быть соблюдены три обязательные условия (принципа) создания интеллектуального комбайна:

- электропривод жатки, наклонной камеры, мо-

лотильного барабана, соломосепаратора, жалюзей решет, вентилятора очистки, трансмиссии с возможностью реализации схемы «мотор – колесо»;

- система автоматических устройств для управления комбайном и его рабочими органами;
- компьютеризация управления комбайном и его рабочими органами.

Для реализации первого условия нет необходимости все рабочие органы и элементы комбайна (машины) переводить на электропривод – только самые энергоемкие и непосредственно влияющие на технологический процесс работы: мотовило, жатку, наклонную камеру, молотильное устройство, контрприводы, трансмиссию. Простейшие механические приводы (одноконтурные ременные и цепные) остаются ввиду их простоты и малой стоимости.

Для выполнения второго условия необходим комплект автоматизированных устройств с системой исполнительных механизмов, из которых первоочередными будут следующие:

- синхронизации частоты вращения мотовила (окружной скорости –  $V_m$ , м/с) и скорости движения комбайна  $V_k$ , из условия  $V_m/V_k = 1,6 - 1,8$ ;
- поддержание постоянной рабочей ширины захвата жатки в пределах 0,95-0,98 от конструктивной ширины путем вождения комбайна по лазерному лучу вдоль левой бровки стеблестоя (рис. 1);
- обеспечение постоянной высоты среза и автокопирования жатки в двух плоскостях – поперечной и продольной;
- изменение скорости движения комбайна в зависимости от величины урожайности зерна и соломы, потерь зерна и рельефа поля с обеспечением постоянной подачи хлебной массы в комбайн на уровне пропускной способности, кг/с, и недопущением перегрузочного режима по основным рабочим органам комбайна (рис. 2);
- картирование полей по урожайности зерна и соломы с использованием системы спутниковой навигации ГЛОНАСС;
- контроль эксплуатационно-технических параметров и режимов работы комбайна (намола зерна, уборанной площади, расхода топлива и т.п.);
- обеспечение выгрузки зерна на ходу (широко применяется во многих странах);
- обеспечение работы 2-3 агрегатов под управлением одного оператора.

Эти автоматизированные устройства существенно дополняют известные и широко применяемые системы автоматического контроля и управления комбайном.

Третье условие реализуется комплектом компьютерных программ, с помощью которых бортовой компьютер управляет режимами работы комбайна и его рабочими органами [9].

Для выполнения функций управления далеко не для всех автоматических систем сейчас существуют компьютерные программы. Их предстоит еще разработать. Особую трудность представляют программы управления скоростью движения комбайна для обеспечения постоянства подачи хлебной массы на уровне пропускной способности в зависимости от урожайности стеблестоя и величины потерь зерна. Слишком много факторов с вероятностной характеристикой обуславливают этот процесс. Но все равно эту задачу надо решать [9, 10]. Параллельно надо разработать более совершенные датчики контроля потерь зерна за комбайном. Имеющиеся датчики пока не совершенны, так как дают неточные результаты. К примеру, пьезодатчики почти одинаково реагируют на воздействие зерна, неорганических частиц, соломинок с междоузлиями. Получаемый от них неточный сигнал приводит к сбою всей системы управления комбайном.

На *рисунке 1* показана принципиальная схема автоматического вождения комбайна с поддержанием постоянной ширины захвата жатки. На левой боковине жатки в переднем конце делителя установлен датчик контура кромки стеблестоя с генератором лазерного луча. На платформе жатки установлен режущий аппарат с конструктивной шириной захвата  $B_k$  и шнек. От датчика на блок компьютера через сигналопровод поступает сигнал об отклонении левого делителя от бровки стеблестоя, который через механизм управления комбайном поступают на рулевое колесо. При этом колесо поворачивается в ту или другую сторону, не допуская отклонения линии движения комбайна больше заданного уровня. Тем самым достигается постоянство рабочей ширины захвата жаток.

На *рисунке 2* представлена принципиальная схема автоматической системы изменения скорости движения комбайна в зависимости от подачи хлебной массы. Между величиной подачи хлебной массы в молотилку комбайна и потерями зерна установлена довольно устойчивая корреляционная связь. Это служит основанием для выбора величины потерь зерна в качестве исходного сигнала для автоматического изменения скорости движения комбайна, достигая постоянства подачи хлебной массы в определенных пределах. При превышении потерь относительно заданного уровня подается сигнал на механизм управления скоростью движения комбайна, и скорость его уменьшается, а при снижении потерь – увеличивается. Индикатором подачи хлебной массы может служить величина ее давления на днище наклонной камеры. Эти два фактора также имеют тесную корреляционную связь. Создание датчика потерь зерна – сложная научно-техническая задача. Пока не удается ее решить. Но нет сомнения, что при должном финансирова-

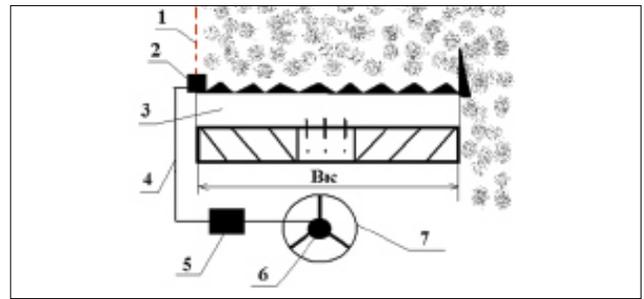


Рис. 1. Принципиальная схема автоматического поддержания постоянной ширины захвата жатки (вождение по лазерному лучу):

1 – лазерный луч; 2 – датчик агрофона (кромка стеблестоя); 3 – платформа жатки; 4 – сигналопровод; 5 – блок компьютера; 6 – механизм управления комбайном; 7 – рулевое колесо  
 Fig.1. Flow diagram of automatic maintenance of header operating constant width (laser beam):

1 – laser beam; 2 – agricultural background controller (crop density brim); 3 – header platform; 4 – signal conductor; 5 – computer bloc; 6 – combine control mechanism; 7 – steering wheel

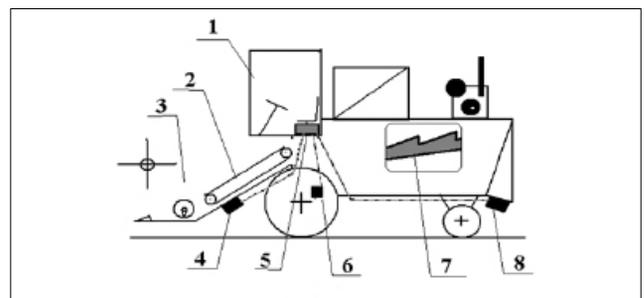


Рис. 2. Принципиальная схема автоматической системы изменения скорости движения комбайна в зависимости от подачи хлебной массы: 1 – кабина оператора; 2 – жатка; 3 – транспортер наклонной камеры; 4 – датчик давления хлебной массы на днище наклонной камеры; 5 – блок компьютера управления скоростью движения комбайна; 6 – механизм управления скоростью комбайна; 7 – сепарирующие органы комбайна; 8 – датчик потерь зерна

Fig. 2. Flow diagram of automatic change harvester motion speed depending on grain heap conveyance: 1 – operator cabine; 2 – header; 3 – feed elevator transporter; 4 – controller of grain heap pressure on feed elevator bottom; 5 – computer's of controlling harvester's speed of movement unit; 6 – harvester speed control mechanism; 7 – harvester separating elements; 8 – grain loss detector

нии этих разработок такой датчик несомненно появится. Реализация такой системы намного упростится при переводе комбайна с гидромеханического привода на электропривод.

В качестве двигательной установки нового комбайна целесообразно использовать гибрид: двигатель внутреннего сгорания и электрогенератор равной мощности. При этом масса генератора не должна превышать 1,0-1,1 кг на 1 кВт его мощности.



Большие требования предъявляются к ходовой системе интеллектуальных полевых машин (тракторов, комбайнов, самоходных шасси и т. п.). Весьма перспективно применение армированных резино-гусеничных движителей разной конфигурации (рис. 3, 4). Первый опыт их эксплуатации показал, что они достаточно надежны, обеспечивают большую проходимость, маневренность и скорость движения комбайна до 55 км/ч. За ними будущее, особенно в варианте электротрансмиссии с независимым приводом левой и правой ведущих звездочек гусеницы (схема «мотор – колесо»).



Рис. 3. Зерноуборочный комбайн, оборудованный треугольными полугусеничными движителями с резиноармированной гусеницей

Fig. 3. Grain harvester equipped with triangled half-track movers with a rubber-reinforced track

В комбайне будущего должны быть также применимы новейшие достижения в области эргономики, функционального технического дизайна, микроклимата и комфорта в кабине оператора.

В таблице 2 приведены расчетные экономические показатели ожидаемой эффективности комбайна *Torum-740* с электроприводом трансмиссии и рабочих органов, из которой видно, что годовой экономический эффект достигает 3,4 млн руб. Такой комбайн может себя окупить почти за 2 года.

**Выводы**

1. Интеллектуальное сельскохозяйственное производство – перспективное направление развития агропромышленного комплекса страны.
2. Интеллектуальное сельхозпроизводство на практике реализуется через актуализацию ресурсов, внедрение научных методов организации производства и создание интеллектуальных машин.
3. Интеллектуальные машины – это высокоавтоматизированные технические средства, которые оптимизируют свое состояние по заданным программам и критериям в зависимости от изменения характеристик агрофона.
4. Основные принципы интеллектуальных машин: наличие электропривода трансмиссии и базовых рабочих органов, применение комплекта автоматизированных устройств контроля и управления; компьютеризация управления с комплексом программ и исполнительных механизмов.



Рис. 4. Общий вид армированного резино-гусеничного движителя комбайна

Fig. 4. General view of harvester reinforced rubber-track mover

Table 2		Таблица 2	
ОЖИДАЕМАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА TORUM С ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ТРАНСМИССИИ И РАБОЧИХ ОРГАНОВ			
EXPECTED EFFECTIVENESS OF THE TORUM COMBINE HARVESTER EQUIPPED WITH THE ELECTRIC DRIVE OF TRANSMISSION AND WORKING TOOLS			
Конструктивные и технические преимущества Structural and technical benefits	Эффект, тыс. руб./га Effect, thousands of rub./ha	Доля преимуществ, % Proportion of the benefits, %	
Повышение КПД передачи всей мощности двигателя на привод трансмиссии и ротора в 1,5 раза со снижением расхода топлива на 20-25% Increasing of efficiency factor of engine power transfer to transmission and rotor drive by 1.5 times and 20-25% less fuel consumption	58,860	1,7	
Автоматическое регулирование скорости движения комбайна в зависимости от текущей урожайности и поддержание постоянной подачи хлебной массы Automatic regulation of harvester motion speed depending on current yield and maintenance of constant grain heap feeding	2160	63,5	
Увеличение валового сбора зерна вследствие повышения маневренности комбайна и уменьшения поворотной полосы Increasing of gross grain harvest due to harvester flexibility improvement and diminishing of the headland	804,000	23,6	
Снижение эксплуатационных затрат на ТО, ремонт, реновацию, расходные материалы Decreasing of exploitation costs of technical support, repair, renovation, consumables	207,350	6,1	
Автоматическое поддержание постоянной частоты вращения барабана независимо от нагрузки (исключение – его заклинивание) Automatic maintenance of constant drum rotation speed regardless of workload (the exception is its jamming)	168,480	5,0	
<b>Итого, тыс. руб. в год In total, thousands of rub./year</b>	<b>3400</b>	<b>100</b>	

5. Создание и производство интеллектуального зерноуборочного комбайнов и тракторов поможет поднять отечественное сельхозмашиностроение на новый технический уровень, развить смежные отрасли машиностроения (приборостроение, средства телемеханики, автоматизации и т.п.), заложить методологические и технические основы создания ин-

теллектуальных сельскохозяйственных машин, позволяющих реализовать весь заложенный в них технологический потенциал и максимально исключить влияние человека на процесс их работы. В настоящее время этот потенциал используется только на 55-65%, что влечет за собой большие затраты энергетических и материально-технических ресурсов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Интеллектуальная автоматизация технических средств сельскохозяйственного назначения // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий*: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 359-362.
2. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Интеллектуальная сельскохозяйственная техника. М.: 2014, Росинформагротех. 123 с.
3. Жалнин Э.В. В.П. Горячкин – вчера, сегодня и в будущем // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. №6. С. 20-26.
4. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method, *China Forestry Economy*, 2007, 9: 19-22, 38.
5. Рунов Б., Пильникова Н. Основы технологий точного земледелия. СПб.: АФИ, 2012. 120 с.
6. Freising H. (Germany). Assessment of Guidance

Systems in Agriculture under European Conditions. *South China Agricultural University*; 3 November 2008.

7. Isik M., Khanna M., & Winter-Nelson, A. (2002). Sequential investment in site-specific crop management under output price Uncertainty. *Journal of Agricultural and Resource Economics*; 26: 1-76.
8. Годжаев З.А., Прядкин В.И., Шевцов В.Г., Русанов А.В. Проблема воздействия на почву ходовых систем мобильных энергосредств и эффективные пути решения // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий*: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 327-329.
9. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов использованием принципа гармоничности их конструкции. М.: ВИМ, 2011. 104 с.
10. Труфляк Е.В., Трубилин Е.И. Современные зерноуборочные комбайны. Краснодар: КубГАУ, 2013. С. 320.

### REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Intellectual automation of technical means of agricultural purpose. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologii*: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow:VIM, 2014: 359-362. (In Russian)
2. Chernoiivanov V.I., Ezhevskiy A.A., Fedorenko V.F. Intellektual'naya sel'skokhozyaystvennaya tekhnika [Intellectual agricultural machinery]. Moscow: 2014, Rosinformagrotekh: 123. (In Russian)
3. Zhalnin E.V. V.P. Goryachkin – in times past, at present and in the future. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014; 6: 20-26. (In Russian)
4. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method, *China Forestry Economy*, 2007, 9: 19-22, 38. (In English)
5. Runov B., Pil'nikova N. Osnovy tekhnologii tochnogo zemledeliya [Bases of technologies of precision agriculture]. St.Petersbug: AFI, 2012: 120. (In Russian)
6. Freising H. Assessment of Guidance Systems in

Agriculture under European Conditions. *South China Agricultural University*, 3 November 2008. (In Germany)

7. Isik M., Khanna M., & Winter-Nelson, A. (2002). Sequential investment in site-specific crop management under output price Uncertainty. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 26: 1-76. (In English)
8. Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I., Shevtsov V.G., Rusanov A.V. Problem of impact on the soil of running systems of mobile power means and effective solutions. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologii*: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Moscow: VIM, 2014: 327-329. (In Russian)
9. Zhalnin E.V. Raschet osnovnykh parametrov zernouborochnykh kombaynov [Combine harvesters main parameters calculation]. Moscow: VIM, 2001: 10 (In Russian).
10. Truflyak E.V., Trubilin E.I. Sovremennye zernouborochnye kombayny [Modern combine harvesters]. Krasnodar: KubGAU, 2013: 320. (In Russian)

**Критерии авторства.** Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

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

**Contribution.** The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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