

УДК 631.354.2

UDC 631.354.2

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ  
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР****RAISE OF PERFORMANCE OF OPERATION  
OF OPTIMUM SYSTEM OF PROCESS  
ENGINEERING OF CEREAL CROPS  
HARVESTING**

Абаев Василий Васильевич

Abayev Vasily Vasylyevich

к.т.н.

Cand.Tech.Sci.

*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Изложены направления эффективного  
функционирования системы технологий  
комплексной уборки зерновых культур

Directions of effective functioning of system of  
process engineering of complex harvesting of cereal  
crops are stated

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА  
ТЕХНОЛОГИЙ, УБОРКА УРОЖАЯ, КОМПЛЕКС  
МАШИН, ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Keywords: OPTIMUM SYSTEM OF PROCESS  
ENGINEERING, HARVESTING, MACHINERY  
COMPLEX, PERFORMANCE OF OPERATION

**Актуальность проблемы.** В растениеводстве приоритетной отраслью, экономической основой всего сельскохозяйственного производства является зерновое хозяйство, в котором уборка зерна занимает примерно половину трудовых, энергетических и денежных затрат. Из них затраты труда и денежных средств на уборку соломы и половы в 2...3 раза больше, чем на уборку зерна. Современная технология комбайновой уборки зерновых культур трудозатратна, энергоемка и не позволяет решить главную задачу - свести до минимума потери урожая, простои машин всего уборочного комплекса из-за нарушения ритмичности процесса, убрать урожай в оптимальные сроки и подготовить основу урожая следующего года. Согласно агротребованиям, на каждом поле сразу после уборки, должна проводиться первичная обработка почвы. За сутки необработанное поле со стерней теряет в среднем 100 т влаги с 1 га, а это означает снижение урожайности последующих культур на 1,5...2 ц/га. По-прежнему не решена задача «комбайн с поля - плуг в борозду», так как она требует большого напряжения сил и технических средств. Однооперационные машины для уборки урожая и лушения стерни предусматривают многократные проходы агрегатов по полю и требуют

больших затрат энергоресурсов, послеуборочный комплекс работ рассматривается в отрыве от уборки урожая. Требуют доработки методические основы оптимизации типажа и структуры комбайнового парка и рационального сочетания альтернативных вариантов ресурсосберегающих технологий уборки урожая и послеуборочного комплекса. Эта проблема актуальна для регионов с широким диапазоном урожайности, в том числе и для Краснодарского края – флагмана производства зерна в России. Его доля в валовом сборе зерна составляет 10...11 %, а в 2010 г – 15 %. Однако и здесь заметна тенденция снижения интенсивности развития зерновой отрасли главным образом из-за недостаточного уровня химизации и машинно-технологического обеспечения.

В нашей стране разработана концепция совершенствования технологии уборки урожая, современной наукой предложены теоретические основы моделирования и оптимизации производственных процессов. Вместе с тем, требуются новые концепции создания ресурсосберегающих технологий уборки с учетом экологической безопасности, новые способы уборки урожая на базе многоцелевых уборочно-почвообрабатывающих агрегатов, а также научно-методические основы эффективного взаимодействия всех звеньев уборочного комплекса, включающего уборку урожая, внесение удобрений и первичную обработку почвы, что представляет актуальную научную проблему, имеющую важное народнохозяйственное значение.

С учетом изложенного научная проблема заключается в разработке методов обоснования и синтеза технологических операций, технических средств, оптимального типоразмерного ряда (типажа) и структуры комбайнового парка, оптимальной системы ресурсосберегающих технологий уборки с одновременным выполнением работ по закладке основы будущего урожая.

**Цель работы** – сокращение затрат производственных ресурсов, потерь урожая и повышение производительности труда на производстве зерна за счет оптимального типоразмерного ряда, структуры комбайнового парка, системы ресурсосберегающих технологий уборки урожая и выполнения послеуборочного комплекса работ.

**Объект исследований** – система ресурсосберегающих технологических процессов и средств механизации нового поколения для уборки зерновых культур с широким диапазоном распределения урожайности.

Новизна технических решений подтверждена тремя патентами РФ на изобретения и тремя – на полезные модели.

**Практическую значимость работы составляют:**

- оптимальная система технологий и технологических комплексов машин для уборки зерновых колосовых культур, в том числе на базе многофункционального уборочно-почвообрабатывающего агрегата и оптимальная продолжительность уборки, параметры и режимы работы агрегатов, применяемых в новой технологии уборки;

- типоразмерный ряд и структура комбайнового парка для условий Краснодарского края;

- дополнения к отраслевому адаптеру Р-АТП-1.3 Федерального регистра технологий по совмещению операций прямого комбайнирования колосовых, внесению удобрений и лущения стерни.

Результаты исследований могут быть использованы в сельскохозяйственных предприятиях, научно-исследовательских институтах и конструкторских бюро при разработке перспективных способов и технических средств для уборки зерновых и других сельскохозяйственных культур, а также в учебном процессе сельскохозяйственных ВУЗов.

**Методы исследований.** Многоуровневый системный подход на

основе исследования операций (моделирование и оптимизация сложных производственных процессов), метод аппроксимации, теория статистики, тензометрирование машин. Нами разработаны также 10 специальных программ к ЭВМ для расчета тяговых показателей полноприводного зерноуборочного комбайна, оптимизации агросроков уборки зерновых и параметров всех агрегатов уборочно-транспортного процесса. При проведении исследований использовались ПЭВМ, информационный фонд КубГАУ и Интернет, а также новые ОСТы для испытаний сельхозтехники.

**Реализация результатов исследований.** Многофункциональный УПА внедрен в 2009 году в АФ «Россия» Тимашевского района и других хозяйствах Краснодарского края на уборке озимой пшеницы.

Отечественной наукой на основе методов моделирования и оптимизации производственных процессов рассмотрена эффективная взаимосвязанная работа большого числа разнотипных технических средств для уборки и транспортировки урожая, внесения удобрений, первичной обработки почвы. Однако, все эти работы выполняются с разрывом по времени, особенно, уборка урожая, внесение удобрений, лущение стерни и не позволяют решить давнюю проблему – одновременно с уборкой заложить основу будущего урожая. Предпринимаемые попытки решить ее на базе комбайнового парка прошлого столетия закончились безрезультатно. Современная концепция уборки, федеральный регистр технологий, утвержденные исходные требования на различные варианты технологий уборки, рекомендации по эффективной транспортировке зерна от комбайнов, использование НЧУ, не в полной мере затрагивают вопросы плодородия почвы, сбережения влаги и экономии ресурсов. Требуется новые способы уборки с использованием многофункциональных уборочно-почвообрабатывающих агрегатов, обоснование параметров новых технологий, режимов работы машин УТК,

рационального типажа комбайнового парка для зональных условий и распределения уборочных площадей по альтернативным вариантам ресурсосберегающих технологий. Оптимальный типаж комбайнов позволит снизить потери зерна, не превышающие 1,5 %, и повысить их производительность.

Требует совершенствования многоуровневый системный подход на основе моделирования производственных процессов УТК по единому критерию ресурсосбережения.

С учетом изложенного сформулирована **основная рабочая гипотеза** – ресурсосбережение, снижение затрат и потерь урожая при выполнении работ уборочного комплекса с созданием основы будущего урожая можно обеспечить разработкой системных методик оптимизации и синтеза системы эффективных технологий комплексной уборки зерновых с оптимальным их техническим обеспечением.

В работе представлены концепции разработки оптимальной системы ресурсо-сберегающих экологически безопасных технологий уборки зерновых культур и синтеза УПА, оптимизация типажа и структуры комбайнового парка для условий Краснодарского края с учетом широкого диапазона урожайности; моделирование производственных процессов по единому критерию ресурсосбережения; обоснование технологической схемы, тягового и мощностного балансов многофункционального УПА, оптимизация его параметров и режимов работы.

В представленной концептуальной схеме синтеза машинной технологии обоснованы ресурсосберегающие, адаптивные, экологические и экономические аспекты, использование которых позволит создать эффективную систему технологий с конкретными параметрами производства конкурентоспособной продукции. Блок ресурсосбережения в предложенной схеме синтеза технологий облегчает решение проблемы за счёт экономии топлива в предлагаемой технологии, используя совмещение

операций прямого комбайнирования зерновых колосовых и лущения стерни, снижение за счёт этого потерь урожая, а также потребности в рабочей силе и технике.

Блок адаптации технологии к природным, организационным условиям, к составу и способам использования технологических и технических средств позволяет предусмотреть требования к выполнению работ, многовариантность технологических схем машин и оптимизацию их эксплуатационно-технологических параметров в зависимости от условий работы.

Блоки экологической безопасности и экономических аспектов технологии усиливают общепринятые требования к сохранению плодородия почвы, охраны окружающей среды, условиям труда оператора и экономической эффективности новой техники. Всё это необходимо предусмотреть в предлагаемой системе технологий, в том числе и с использованием УПА.

В результате выполненных исследований предложена оптимальная система ресурсосберегающих технологий уборки, в том числе способ уборки зерновых культур с одновременным внесением минеральных удобрений для улучшения гумификации измельчённой соломы и обработкой почвы многофункциональным уборочно-почвообрабатывающим агрегатом на базе полноприводного зерноуборочного комбайна. Новизна технических решений подтверждается тремя патентами РФ на изобретения (№№ 2307498, 2369078, 2299534) и тремя патентами на полезную модель (№№ 68225, 66142, 14797).

Обоснование предлагаемой системы технологий для края выполнено с использованием многоуровневого системного подхода, наиболее удобного для проектирования сложных производственных процессов. Однако для решения поставленной задачи необходимо было уточнить его структурную схему с использованием критерия ресурсосбережения на всех

уровнях рассматриваемых подсистем. Предлагаемая структурная схема многоуровневого системного подхода к обоснованию ресурсосберегающих производственных процессов уборки урожая (рисунок 1) включает 3 уровня: 1 – выбор системы технологий; 2 – техническое обеспечение оптимальной системы технологий с оптимизацией типоразмерного ряда комбайнов и структуры парка; 3 – оптимизация УПА как варианта эффективного использования энергонасыщенных полноприводных комбайнов классов 8-12 кг/с и выше.

Входные факторы  $\Phi$ , (урожайность  $U_k$ , сроки уборки  $n_{p\partial}$ , размеры площадей  $F$  зерновых культур и др.) позволяют на первом уровне системы обосновать альтернативные варианты технологий уборки, их объемы, а также определить потери энергосодержания убираемой продукции  $\Delta\mathcal{E}_П$ , которые прямым образом влияют на величину критерия оптимизации – коэффициента биоэнергетической эффективности  $K_б$ , рассчитываемого на 3-ем заключительном уровне. Выходными параметрами 1-го уровня являются оптимальная система альтернативных вариантов технологий уборки, оптимальное количество рабочих дней уборки урожая  $n_{p\partial\ opt}$ , потери энергосодержания убираемой продукции  $\Delta\mathcal{E}_{opt}$ .

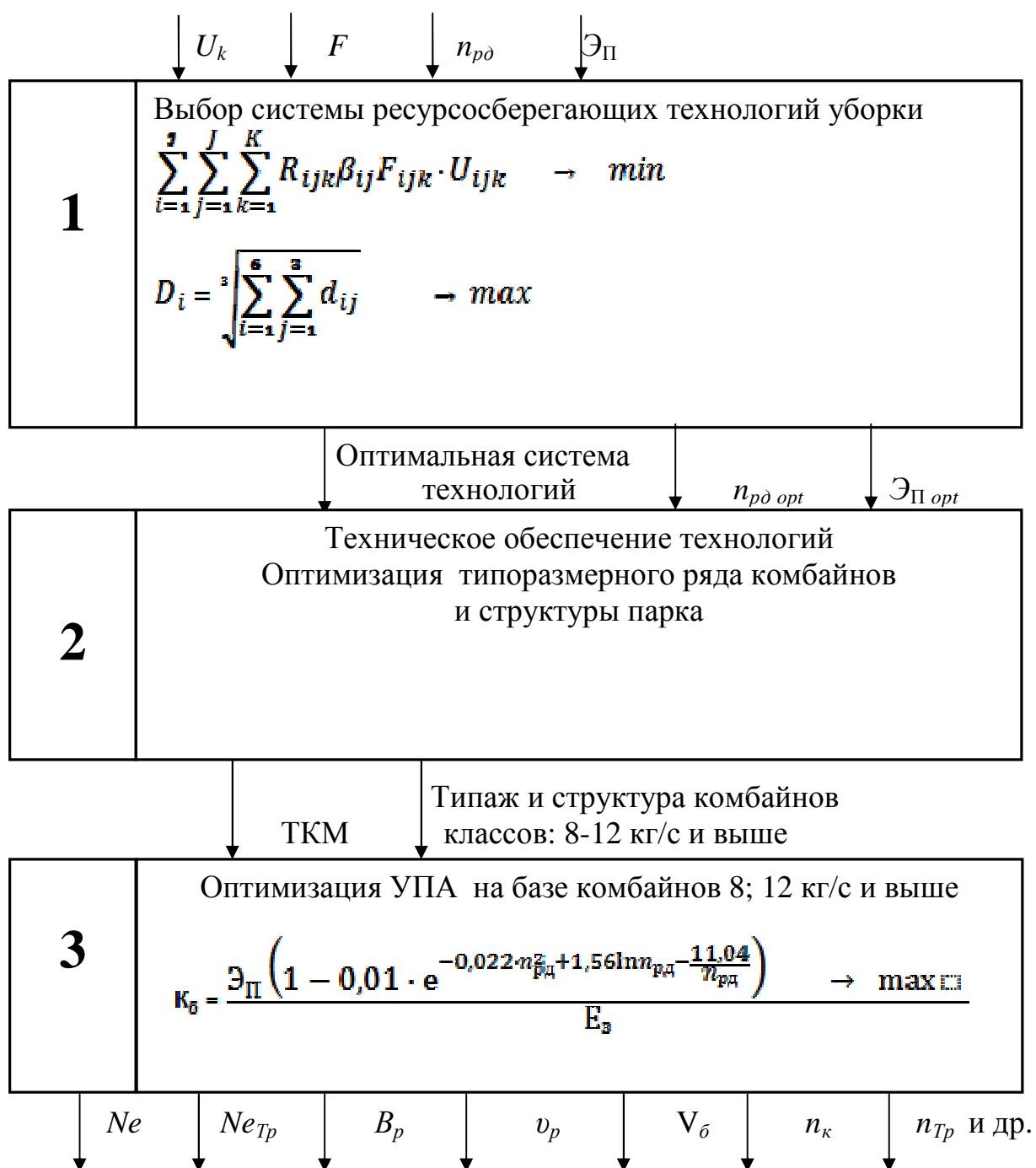


Рисунок 1 – Структурная схема многоуровневого системного подхода к обоснованию ресурсосберегающих производственных процессов уборки урожая

В каждом регионе и даже отдельном хозяйстве необходимо иметь



несколько альтернативных технологий уборки урожая для различных условий: урожайность, влажность, соломистость, полеглость, засоренность, высота, густота стояния, равномерность созревания и др. Все это влияет на производительность комбайнов, потери зерна и его качество. Нами изучены многолетние данные условий уборки зерновых на Кубани и составлено статическое распределение их показателей. Так, распределение урожайности подчиняется нормальному закону распределения и имеет широкий диапазон – от 5,7 ц/га до 76,8 ц/га. Получена также закономерность потерь зерна после его полного созревания [1]. Системой земледелия и экспертами для Кубани рекомендованы следующие технологии уборки зерна: прямое и раздельное комбайнирование, а также очес на корню. По результатам исследований ВНИПТИМЭСХ последняя технология по сравнению с комбайновой в 3,5...4 раза эффективнее. Незерновая часть урожая (НЧУ) должна убираться по двум технологиям: мульчирующая с использованием НЧУ на удобрение и валковая. В свою очередь последняя делится еще на три варианта: прессование в тюки («Квадрант-3400»), подбор соломы из валков в ТПФ-45 (50), подбор из валков с измельчением и разбрасыванием РИС-2 на удобрение.

На основании психологического эксперимента с помощью 30 квалифицированных специалистов обоснована оптимальная система ресурсосберегающих технологий уборки, включающая шесть альтернативных вариантов. Экспертами предложено также рациональное распределение уборочных площадей по этим вариантам.

На ближайшую перспективу комбайновый способ уборки останется главным, но значительное место уже будет занимать очес на корню.

Комбайновый способ будет также совершенствоваться. Нами предложены 6 перспективных вариантов технологий уборки зерновых колосовых культур для условий Краснодарского края.

**1-й вариант:** раздельная комбайновая уборка с укладкой

обмолоченной соломы в валок, подбор валков соломы с измельчением и разбрасыванием прицепным измельчителем.

**2-й вариант:** раздельная комбайновая уборка с укладкой соломы в валок последующим подбором валков и прессованием в тюки прямоугольной формы больших размеров, подбор – транспортировка – штабелевание тюков одним агрегатом.

**3-й вариант:** раздельная комбайновая уборка с последующим подбором соломы из валков с погрузкой и транспортировкой на ферму.

**4-й вариант:** прямое комбайнирование УПА с одновременным измельчением, разбрасыванием соломы и лушением стерни. Работа выполняется полноприводным зерноуборочным комбайном высокого класса с прицепным луцильником (бороной).

**5-й вариант:** уборка колосовых очесом на корню с одновременным рыхлением почвы или прямым посевом. Работа выполняется полноприводным комбайном класса 8-15 кг/с с очесывающим адаптером и прицепным луцильником или сеялкой прямого посева.

**6-й вариант:** уборка колосовых очесом на корню с послеуборочным лушением стерни.

Общими обязательными принципами для всех шести вариантов является: отсутствие автомобилей на поле для отвоза зерна от комбайнов во избежание уплотнения почвы и применение бункеров-перегрузчиков зерна.

Для расчета параметров выбранной системы уборочных технологий разработана экономико-математическая модель:

$$\sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K R_{ijk} \beta_{ijk} \cdot F_{ijk} \cdot U_{ijk} \rightarrow \min,$$

где  $R_{ijk}$  – значение  $j$ -го ограниченного производственного ресурса для  $i$ -го варианта технологии с  $k$ -ым уровнем урожайности;

$\beta_{ijk}$  – доля  $i$ -го варианта технологии в общем объеме производства

зерновых

культур ( $\alpha$ ) для  $j$ -го ресурса, с  $k$ -ой урожайностью.

При этом:  $i = 1 \dots 6$ ;  $j = 1 \dots 5$ ;  $k = 5 \dots 8$  (т/га).

К ограниченным производственным ресурсам относят совокупные затраты энергии на выполнение производственных процессов, эксплуатационные и трудовые затраты. Критерий оптимизации  $i$ -го варианта технологии рассчитывается по предложенной формуле:

$$D_i = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^8 d_{ijk}} \rightarrow \max D_i,$$

где  $D_i$  – критерий оптимизации  $i$ -го варианта технологии уборки, в том числе

и для оптимальной системы технологий;

$d_{ijk}$  – желательность  $j$ -го производственного ресурса в  $i$ -том варианте технологий.

Рассчитывается по известной методике с использованием функции желательности Харрингтона с нашими дополнениями.

Результаты выполненных расчетов и их анализ представлены в 4-ом разделе диссертации.

Второй уровень системного подхода (рисунок 1) посвящен обоснованию технического обеспечения предложенной оптимальной системы технологий. Его выходом является оптимальный типоразмерный ряд и структура комбайнового парка, а также технологические комплексы машин (ТКМ) по вариантам уборочных технологий. В качестве критерия оценки моделей комбайнов по методике ВИМ принята его пропускная способность в кг/с при уровне потерь зерна 1,5 % и дроблении 2 %. Оптимальный типаж комбайнов – это важнейший элемент технической политики АПК в каждом регионе. Именно он, базируясь на оптимальных агросроках выполнения уборочных работ и на широком диапазоне урожайности, обеспечивает полное использование технических

возможностей комбайнов, их окупаемость и максимальный валовой сбор зерна. ВИМом обоснованы для АПК страны 6 классов комбайнов. Эта задача также актуальна и для нашего края с широким диапазоном распределения урожайности.

#### **Актуальность задачи по оптимизации типажа и структуры.**

Таким образом, величина оптимального тягового усилия, создаваемого задним ведущим управляемым мостом, легко может быть определена через сцепной вес  $G_{сц}$  комбайна, приходящийся на него, вес комбайна  $G_k$ , коэффициенты  $\mu, f$  и величину подъема  $i$ .

Мощностной баланс энергонасыщенного полноприводного зерноуборочного комбайна с учетом агрегатирования прицепной машины для обработки почвы рассчитывают по следующей формуле:

$$Ne = (N_f + N_{T.П} + N_T) \cdot K_u^{-1},$$

где  $Ne$  – эффективная мощность двигателя комбайна, кВт;

$N_f$  – мощность, требуемая на качение комбайнового агрегата, кВт;

$N_{T.П}$  – мощность, потребляемая на технологический процесс, кВт;

$K_u$  – коэффициент использования мощности двигателя;

$N_T$  – мощность, затрачиваемая на преодоление тягового сопротивления почвообрабатывающей машины, кВт.

В свою очередь:

где  $M_k, M_m$  – масса комбайна, и прицепной машины, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/s^2$ ;  $v_p$  – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;

$\eta_{Tp}$  – КПД трансмиссии;  $\delta$  – буксование ходовых колес комбайна.

Мощность  $N_{T.П}$  определяем на основании аппроксимации данных по

формуле профессора Жалнина Э.В:

$$N_{T.П} = 28,6 \cdot e^{0,14q_{np}},$$

где  $q_{np}$  – приведенная подача молотилки, кг/с.

Для мощности  $N_T$  по аналогии с мощностным балансом для трактора запишем:

$$N_T = \frac{P_T \cdot v_p}{3,6},$$

где  $P_T$  – тяговое усилие на крюке комбайна, кН.

Заменим  $P_T$  в формуле на  $P_{T \text{ opt}}$  и, проведя соответствующие преобразования, получим уравнение мощностного баланса полноприводного комбайна:

Экономическая эффективность результатов исследований выполнена методом изложения вариантов технического оснащения на объем работ типичного хозяйства – Госплемзавод «Красноармейский» Красноармейского района Краснодарского края. Цель работы – определить эффективность предлагаемого варианта технологии и влияние, которое он оказывает в производственных условиях на сбережение трудовых, капитальных и топливных ресурсов. В качестве базы для сравнения выступали оптимальные составы машинно-тракторного парка хозяйства, выполняющего весь объем механизированных работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур в рамках традиционных и предлагаемых технологий. Первый вариант расчета (базовый) выполнялся применительно к севообороту хозяйства на основе применяемой техники и технологий, второй – с использованием оптимальной системы технологий уборки и нового, разработанного автором многофункционального УПА.

Расчет оптимального состава МТП для двух вариантов выполнен по методике ВНИПТИМЭСХ. Полученные показатели экономического эффекта от нашей разработки позволяют сделать вывод, что она обеспечивает существенное снижение всех видов затрат при выращивании продукции полеводства в типичном хозяйстве. Так, в новом варианте эксплуатационные затраты по сравнению с базовым сокращаются на 4046,8 тыс. руб., капитальные вложения – на 4347,1 тыс.руб., затраты труда – на 10,8 %, интегральные затраты – на 4,7 %. Годовой экономический эффект от внедрения оптимальной системы технологий и уборочно-почвообрабатывающего агрегата составил 9,5 млн. рублей или 832,9 рублей в расчете на 1 га пашни.

#### Список литературы

1. Оптимизация продолжительности уборки зерновых культур по затратам совокупной энергии/Г.Г.Маслов, В.М. Масловский, В.В.Цыбулевский, В.В.Абаев //Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2008614989. Зарегистрировано в реестре программ 21.08.2008 г.
2. Абаев В.В. Масловский В.В.Агрегат убирает, пашет, сеет...//Сельский механизатор, 7, 2008. – 6 с.
3. Абаев В.В. Рациональное распределение уборочных площадей по вариантам перспективных технологий//Труды КубГАУ, Вып.5(26).– Краснодар, 2010. – С. 138-141.