

УДК 631.362.2

UDC 631.362.2

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ
ЭНЕРГОЕМКОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ
УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ
АГРЕГАТАМИ****METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF
ENERGY INTENSITY OF THE COMPLEX
HARVESTING OF GRAIN WITH
MULTIFUNCTION UNITS**

Палапин Алексей Витальевич
к.т.н., доцент кафедры ЭМТП
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Palapin Aleksey Vitalyevich
Cand.Tech.Sci., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Рассчитаны затраты совокупной энергии предлагаемых четырех типов многофункциональных агрегатов и их оптимальной системы для условий уборки зерна в Краснодарском крае, рассмотрен анализ затрат

In the article, we have calculated the cost of the combined energy of the proposed four types of the multifunctional units and their optimal system for the conditions of grain harvesting in the Krasnodar region; the analysis of the costs has also been reviewed

Ключевые слова: ТРАКТОР, КОМБАЙН,
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АГРЕГАТ,
УБОРКА УРОЖАЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: TRACTOR, COMBINE,
MULTIFUNCTIONAL HARVESTING,
EFFICIENCY

В числе основных требований к уборке зерновых культур, важное место занимает энергоемкость и комплексное выполнение всех производственных процессов. К сожалению, в литературных источниках [1, 2, 3 и др.] часто констатируются многочисленные нарушения оптимальной продолжительности уборки, которая в 4-5 раз превышает нормативную [1], обеспечение непрерывности технологического процесса уборки всех продуктов урожая (зерна и незерновой части), согласованности работы машин: убрать урожай в предусмотренные агросроки и подготовить поле под урожай следующего года [2, 3, так как эта задержка на 2-3 дня снижает урожайность сельскохозяйственных культур следующего года на 1,5-2 ц/га. [2]. Энергоемкость производимой продукции в нашей стране также на порядок выше, чем за рубежом. Таким образом, одинаково актуальны и требуют быстрого решения задачи снижения энергоемкости производства продукции и соблюдения комплексности работ.

Оценка затрат энергии на производство в джоулях в настоящее время в мировой практике все более расширяется [4, 5]. Актуальна она и для

уборки зерновых культур. Нами выполнено обоснование энергоемкости комплексной уборки зерновых для базовой технологии и предлагаемой нами с применением многофункциональных агрегатов (МФА). Расчеты выполнены на примере уборки площадей под зерновыми культурами в Краснодарском крае (2300 тыс. га).

В базовой технологии используются самоходные зерноуборочные комбайны Дон-1500Б, грузовые автомобили КАМАЗ, жатки ЖВП-6, пресс-подборщики ПРФ-145 и др. техника (таблица 1).

Предлагаемая технология (таблица 2) принципиально отличается от базовой. Она базируется на использовании МФА четырех типов:

1 – прицепной зерноуборочный комбайн в варианте для прямого комбайнирования с измельчением и разбрасыванием соломы, присоединенная к нему прицепная зерновая сеялка для прямого посева пожнивных культур (горчицы, рапса, овса на сидераты или кормовых – кукурузы на зеленый корм и др.);

2 – прицепной зерноуборочный комбайн в варианте с очесом зерновых на корню и также с сеялкой прямого посева;

3 – прицепной зерноуборочный комбайн в варианте подбора и обмолота валков с измельчением и разбрасыванием соломы и прицепное к комбайну орудие для рыхления почвы (дисковая борона или стерневой культиватор);

4 – прицепной зерноуборочный комбайн в варианте для прямого комбайнирования и присоединенный к нему пресс-подборщик соломы.

Все четыре типа МФА работают в режиме «невейки» с доработкой вороха на стационаре с использованием высокопроизводительного аспирационно-решетного сепаратора Канадской фирмы McLeod Harvest MH230.

Таблица 1 – Технологическая карта уборки зерновых колосовых по базовой технологии

Шифр работ	Наименование с.-х. работ	Агротребования	Сроки начала и продолжительность выполнения, рабочих дней	Убираемая площадь, тыс. га	Состав МТА	Производительность МТА		Расход топлива, кг/га
						га/ч	га/день	
1.1	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	85,7 %	20.06/30	1971	ДОН-1500Б	2,0	24	18,5
1.2	Скашивание в валки	14,3 %	10.07/5	329	МТЗ-80+ЖВП-6	3,0	54	2,3
1.3	Подбор и обмолот валков	14,3 %	4.07/5	329	ДОН-1500Б	2,2	26,4	15,0
1.4	Прессование соломы	13,8 %	4.07/10	317,4	МТЗ-80+ПРФ-145	1,1	19,8	6,0
1.5	Погрузка тюков	5 т/га	4.07/10	317,4	МТЗ-80+ПКУ-0,8	1,34	26,8	1,1
1.6	Транспортировка тюков	5 т/га	4.07/10	317,4	Т-150К+ПТС-9	2,8	56,0	1,4
1.7	Складирование тюков	5 т/га	4.07/14	317,4	МТЗ-80+ПКУ-0,8	1,34	26,8	1,1
1.8	Транспортировка зерна от комбайнов на ток	5 т/га	20.06/30	2300,0	КАМАЗ	2,0	24	5,0
1.9	Очистка зерна на току	5 т/га	20.06/30	2300	ЗАВ-40	8,0	160	16,8 кВт.ч га
1.10	Подвоз воды	250 л/га	16.06/5	812,0	МТЗ-80+РЖТ-4	17,2	103,2	0,2
1.11	Внесение гербицидов	250 л/га	16.06/5	812,0	МТЗ-80+ОП-24	10,0	120,0	1,1
1.12	Прямой посев сидератов	35,3 %	5.07/10	812,0	Т-150К+Грейт-Плейнз	2,0	24	10,6
1.13	Лушение стерни	64,7 %	20.06/15	1488,1	Т-150К+БДТ-7	3,5	70	6,2

Таблица 2 – Технологическая карта уборки зерновых колосовых по предлагаемой технологии с МФА

Шифр работ	Наименование с.-х. работ	Агротребования	Сроки начала и продолжительность выполнения, рабочих дней	Убираемая площадь, тыс. га	Состав МТА	Производительность МТА		Расход топлива, кг/га
						га/ч	га/день	
2.1	Прямое комбайнирование с измельчением соломы и севом пожнивного рапса	36,6 %	20.06/15	841,8	МУПА-1 (10 кг/с)	1,6	19,2	13,5
2.2	Очес на корню с прямым посевом пожнивного рапса	35,3 %	20.06/17	811,9	МУПА-2 (8 кг/с)	3,3	59,4	9,0
2.3	Раздельное комбайнирование с одновременным рыхлением почвы	14,3 %	5.07/19	328,9	МУПА-3 (13 кг/с)	2,2	26,4	16,4
2.4	Скашивание в валки	14,3 %	5.07/19	328,9	ES-1-ЖХТ-9	5,4	107,7	5,5
2.5	Прямое комбайнирование с одновременным прессованием соломы	13,8 %	1.07/17	317,4	МУПА-4 (14 кг/с)	3,02	36,3	13,5
2.6	Транспортировка зерна от комбайнов	5 т/га	5.07/19	328,9	НПБ-44 (13 кг/с)	3,6	42,9	2,7
	Транспортировка зерна от комбайнов	5 т/га	20.06/17	811,9	НПБ-24 (8 кг/с)	2,8	59,4	1,0
	Транспортировка зерна от комбайнов	5 т/га	1.07/17	841,8	НПБ-56 (10 кг/с)	3,2	37,7	3,2
	Транспортировка зерна от комбайнов	5 т/га	1.07/17	317,4	НПБ-52 (14 кг/с)	4,9	59,0	2,8
2.7	Погрузка-транспортировка и складирование тюков	5 т/га	1.07/17	317,4	К3180+SPR-12	8,0	150,0	1,4
2.8	Разделение вороха на стационаре, очистка и сортировка зерна	5 т/га	20.06/30	2300	МН230+ВИМ 12/25	20,0	400,0	4,8 $\frac{\text{кВт.ч}}{\text{га}}$
2.9	Подвоз воды	250 л/га	16.06/24	1653,7	МТЗ-920+АПВ-6	17,2	206,4	0,2
2.10	Внесение гербицидов	250 л/га	16.06/24	1653,7	МТЗ-920+Харди 4400	12,9	155	1,2
2.11	Лушение стерни	13,8 %	20.06/17	317,4	К3180+Рубин 9/500	4,0	80	6,0

Последний, как и прицепные комбайны МН130, широко проверены в Канаде и показали высокую эффективность [6]. Экономический эффект от применения прицепного комбайна МН130 и сепаратора вороха МН230 по сравнению с традиционной технологией уборки самоходными комбайнами Джон-Дир составил 800 долларов на 1 га убираемой площади [6]. Как уже сказано выше, предлагаемые нами МФА принципиально меняют технологию, делают ее гибкой применительно к складывающимся условиям уборки и что очень важно – в комплексе одновременно выполняется уборка урожая и последующие работы уборочного цикла: рыхление почвы для закрытия влаги, уборка соломы в необходимом количестве, вся полова (мякина) и сев пожнивных культур на сидераты или для производства кормов.

Технико-экономический анализ показал, что объединение уборочного процесса с процессом первичной обработки почвы, включая прямой посев сидеральных культур одновременно с обмолотом, дает заметное сокращение себестоимости основных возделываемых культур в зональных севооборотах Краснодарского края. Такое конструктивно-технологическое решение оказалось возможным при создании зерноуборочного комбайна высокого класса нового поколения, отличительными особенностями которого являются высокая энергонасыщенность и установка активного управляемого моста. Покрытие дополнительной энергоемкости объединенного процесса уборки и прямого посева осуществляется не только и не столько за счет высокой мощности двигателя, сколько переходом на очес или высокий срез, существенно сокращающим энергоемкость процесса обмолота. Так же задача будет решаться и с прицепными комбайнами совместно с Э. И. Липковичем (АЧГАА) в составе МФА.

На первом этапе решена задача разработки технологии и создания технического средства, обеспечивающего закрытие влаги одновременно с

обмолотом, которое выполняет зерноуборочный комбайн TORUM-740, агрегатируемый со специальным прицепным приспособлением. Обоснована техническая структура приспособления, его рабочие органы, обеспечивающие поверхностную обработку почвы с пожнивными остатками на глубину 3-5 см; выполнено техникоэкономическое обоснование эффективности технологического процесса; сформулированы требования к прицепной конструкции приспособления; разработана конструкторская документация в полном объеме; подготовлено руководство по эксплуатации приспособления.

Приспособление достаточно простое и может быть изготовлено на РТП края, на которых после испытаний на МИС может быть развернуто его серийное производство.

Надо отметить, что разработанное приспособление может использоваться для высокопроизводительной первичной обработки почвы в агрегате с трактором класса 0,9-1,4 или в сцепке из двух машин (ширина захвата 12 м) – с тракторами классов тяги 2,0-3,0.

Технологическая эффективность агрегатов, выполняющих объединенные операции в едином временном интервале и более того – законченные циклы, а также результаты технико-экономического анализа подтверждают, что разрабатываемые комплексные технологии и комбинированные уборочно-почвообрабатывающие и уборочно-посевные агрегаты в научно-техническом плане носят прорывной характер, разработка и создание такой техники должны быть приоритетными у агроинженерных специалистов.

Трактор – основное энергосредство в составе предлагаемых МФА. Основоположники науки по эксплуатации машинно-тракторного парка (МТП) справедливо считали, что наибольшая производительность и экономичность (по расходу топлива) тракторного агрегата может быть получена тогда, когда трактор будет работать на таких нагрузках и

скоростях движения, при которых он сможет развивать наибольшую тяговую мощность и иметь наименьший расход топлива на тяговую силу за час работы [7]. По этим критериям выбирались рациональная передача трактора и скорость движения. Такой подход вполне был приемлем для тракторов с механической коробкой перемены передач с известными передаточными отношениями на каждой из них, и использовался в учебном процессе, и на производстве при комплектовании МТА.

При внедрении бесступенчатой автоматической трансмиссии выбор трактора для агрегатирования машины базируется на основе математического моделирования выполняемого технологического процесса МТА. При этом не известны ни параметры трактора (эффективная мощность двигателя N_e , кВт; эксплуатационный вес G_T , кН; номинальная частота вращения коленвала двигателя, c^{-1} ; и др.), ни параметры агрегируемой машины (удельное тяговое сопротивление K_m , кН/м; вес машины и др.), ни условия работы агрегата (характеристика агрофона, уклон поля, плотность невяного вороха для прицепного зерноуборочного комбайна, емкость бункера, соотношение массы зерна и полвы и др.). Особенности решения таких задач заключаются в том, что часть исходных данных для расчета заводится в базу данных с учетом агротехнически допустимых интервалов, по некоторым параметрам машин находят их зависимости на основе аппроксимации выборки, по некоторым принимают допущения (например, максимальное значение тяговой мощности трактора $N_{кр\ max}$ соответствует максимальной эффективной мощности двигателя $N_{e\ max}$).

Согласно известному балансу мощности трактора определяется тяговая мощность трактора на крюке $N_{кр}$ [7]:

$$N_{кр} = N_e - (N_{Tp} + N_{кач} + N_{нод} + N_{\delta} + N_{ВОМ}), \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;

N_{Tr} – мощность, затрачиваемая на преодоление трения в передаточных механизмах трансмиссии трактора, кВт;

$N_{кач}$ – мощность, расходуемая на самоперемещение трактора, кВт;

$N_{под}$ – мощность, расходуемая на преодоление подъема местности, кВт;

N_{δ} – мощность, расходуемая на деформацию почвы при буксовании трактора, кВт;

$N_{ВОМ}$ – мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов прицепной машины, кВт.

Из формулы (1) следует, что чем выше мощность двигателя N_e , чем меньше N_{Tr} , $N_{кач}$, $N_{под}$, N_{δ} , $N_{ВОМ}$, тем выше полезная мощность $N_{кр}$. При этом N_{Tr} практически не зависит от скорости движения и их можно считать постоянными, а $N_{кач}$ – составляют существенную величину, особенно на высоких скоростях [7].

В наших МФА обоснованы мощность трактора для прицепного тягово-приводного многофункционального агрегата, совмещающего технологические операции уборки зерна и прямого посева пожнивной культуры. При этом агрегат работает в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ), включающего накопитель-перегрузчик бункерный (НПБ), а сам агрегат – прицепной зерноуборочный комбайн для работы по методу «невейка» и зерновую сеялку прямого посева типа «Грейт-Плейнз». Условия работы многофункционального агрегата характеризуются площадью поля F , длиной гона L_p , урожайностью зерна U , плотностью вороха ρ , соотношением массы зерна к полове δ_m , расстоянием переездов S , емкостью бункера комбайна V_b , пропускной способностью молотилки q , буксованием трактора δ и продолжительностью уборки $n_{р\delta}$. Для всех исходных данных приняты интервалы варьирования с целью моделирования и выбора их оптимальных значений по критерию оптимизации E_z – минимум совокупных затрат энергии в МДж/т на выполнение всех работ уборочно-транспортного комплекса (УТК). В

общем виде этот критерий можно представить следующим уравнением (2):

$$E_3 = (E_f + E_{xx} + E_{ТП} + E_{посев} + E_{НП} + E_{НП}^{Tp} + E_{G_T} + E_{ТЛ}) \rightarrow \min, (2)$$

где E_3 – совокупные затраты энергии на выполнение всех работ УТК;

$E_f, E_{xx}, E_{ТП}$ – совокупные затраты энергии, соответственно, на передвижение агрегата, на холостой ход рабочих органов, на выполнение им технологического процесса;

$E_{посев}$ – совокупные затраты энергии на посев пожнивной культуры;

$E_{НП}$ – совокупные затраты энергии на рабочий процесс, изготовление, ремонт и обслуживание накопителя-перегрузчика (НПБ);

$E_{НП}^{Tp}$ – совокупные затраты энергии на рабочий процесс, изготовление, ремонт и обслуживание трактора, агрегирующего НПБ;

E_{G_T} – затраты энергии расходуемого топлива на весь объем выполняемых работ;

$E_{ТЛ}$ – совокупные затраты энергии технологической линии на выполнение очистки вороха и складирование зерна и соломы.

Целевая функция (2) модели может использоваться для дипломных работ, магистерских диссертаций и др. расчетов. Как уже было отмечено выше, предлагаемая нами технология уборки зерновых культур с использованием МФА обеспечивает усовершенствованный цикл УТК, т.е. совмещение операций уборки урожая и ряда других за один проход агрегата по полю. Это сулит благоприятные предпосылки высокой энергетической и экономической эффективности по сравнению с базовым вариантом технологии. В таблицах 1-2 представлены технологические операции по вариантам технологий, в таблицах 3-4 – их показатели по затратам совокупной энергии, труда и металлоемкости.

Суммарные затраты совокупной энергии E_3 на все производственные процессы комплексной уборки зерновых культур определили по следующей формуле (3):

$$E_3 = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J E_{ijk} F_{ijk} U_{ijk} b_{ijk} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где E_{ijk} – энергозатраты на производственные процессы комплексной уборки

i -го агрегата k -ой площади с j -ой урожайностью;

F_{ijk} – уборочная площадь для i -го агрегата с j -ой урожайностью;

U_{ijk} – урожайность на убираемой i -ым агрегатом k -ой площади;

β_{ijk} – долевого коэффициент k -ой площади с j -ой урожайностью, убираемой

i -ым многофункциональным агрегатом.

Таблица 3 – Техничко-эксплуатационные показатели гибких многофункциональных агрегатов и их оптимальной системы

Марка агрегата	Удельные затраты совокупной энергии E_3 , МДж/т	Затраты труда $3_{тр}$, чел. -ч/т	Металлоемкость M , кг/т
МФА-1	252,9-361,3	0,081-0,116	5,4-7,9
МФА-2	188,3-230,0	0,096-0,14	2,37-3,34
МФА-3	244,1-348,0	0,060-0,09	2,82-4,15
МФА-4	375,8-536,0	0,069-0,099	3,84-5,56
Оптимальная система МФА	292,1-357,4	0,27-0,31	5,3-7,9
Система технического обеспечения технологий уборки по базовому варианту (с Дон-1500Б)	498,3-609,7	0,54-0,62	10,5-13,2

Представленные в таблице 3 данные наглядно подчеркивают эффективность предлагаемой системы технологий. Оптимальная система технологий имеет существенное преимущество с базовой по удельным затратам совокупной энергии (МДж/т), по затратам труда (чел.-ч/т) и металлоемкости (кг/т). Так, в сравнении с базовой затраты совокупной энергии на выполнение всего комплекса работ снижаются в 1,7 раза, трудовые – в 2 раза, металлоемкость – в 1,7-1,9 раза.

Таким образом ожидается существенный прорывной эффект новых

уборочных технологий.

Кроме технико-эксплуатационных показателей можно перейти на оценку экономической эффективности в денежном выражении через расход дизтоплива. Сравнили предлагаемую и базовую системы комплексной уборки зерновых культур по расходу топлива на 1 т зерна (таблица 4).

Таблица 4 – Экономическая эффективность сравниваемых систем уборочных технологий

№ варианта	Наименование вариантов	Удельные затраты совокупной энергии, МДж/т	Расход топлива, кг/т	Цена топлива, руб./кг	Удельные затраты на расходуемое топливо, руб./т
1	Базовая система	498,3-609,7	5,22-6,38	28	146,2-178,6
2	Проектируемая (предлагаемая) система	292,1-357,4	2,8-3,4	28	78,4-95,2

Как следует из данных таблицы 4, проектируемая (предлагаемая) система комплексной уборки зерновых культур на базе гибких МФА имеет также существенную экономическую эффективность по сравнению с базовой. Удельные затраты на расходуемое топливо по предлагаемой технологии уборки в 1,9 раза ниже базового варианта. Если пересчитать удельные затраты энергии на расходуемое топливо (таблица 4), т.е. его количество по базовой и предлагаемой технологиям, то экономический эффект только за счет экономии топлива в новом варианте на всю площадь составит 0,89-1,09 млрд. рублей.

И все же, главный критерий эффективности технологий – экономия совокупных затрат энергии, которые снизились по сравнению с базовой в 1,7 раза (таблица 3). Для разработки мероприятий по дальнейшему снижению энергоемкости производства необходимо знать структуру составляющих совокупных затрат энергии (таблица 5).

Таблица 5 – Структура составляющих совокупных затрат энергии по вариантам технологий

Составляющие совокупных затрат энергии	Варианты технологий			
	базовая		предлагаемая	
	затраты энергии, тыс. ГДж	% к итогу	затраты энергии, тыс. ГДж	% к итогу
Прямые энергозатраты на выполнение механизированных работ	3221,3	44,36	1732,6	40,70
Энергозатраты на производство и обслуживание всех машин УТК	4028,5	55,49	2521,0	59,20
Энергозатраты живого труда на обслуживание всех машин	10,62	0,15	4,86	0,10
Итого:	7260,5	100,0	4257,8	100,0

Как следует из представленных данных, наибольшую долю затрат энергии занимают энергозатраты на производство и обслуживание машин (55,49-59,2 процента). Прямые энергозатраты на выполнение работ в базовом варианте составляют 44,36 %, в предлагаемом несколько снизились (40,7 %). Энергозатраты живого труда в структуре общих затрат энергии занимают менее 1 %. Предпочтительно, что новая технология снижает затраты совокупной энергии живого труда и на выполнение механизированных работ.

Выводы

Представленная методология обоснования энергоемкости и выполненная сравнительная оценка эффективности технологии комплексной уборки зерновых культур по различным оценочным показателям показала существенное преимущество предлагаемой технологии и, следовательно, ей должно быть отдано предпочтение.

Список литературы

1. Бледных В.В. и др. Современные зерноуборочные комбайны: состояние, тенденции и концепция развития. – Челябинск: ЧГАУ, 1998. – 70 с.
2. Жалнин Э.В., Савченко А.Н. Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами. – М.: Россельхозиздат, 1985.
3. Липкович Э.И. и др. Технология зерновых культур с совмещением послеуборочных операций/Тракторы и сельхозмашины, 12, 2010. – С. 48-50.
4. Кленин Н.И., Золотов А.А. Расчет уборочно-транспортного комплекса. – М.:

ФГОУ ВПО МГАУ, 2003.

5. Зангиев А.А. и др. Оптимизация параметров и режимов работы агрегатов для уборки зерновых культур по индустриально-поточной технологии. – М.: Информагротех, 1996. – 24 с.

6. Гейдебрехт И.П. Канадская технология уборки сельскохозяйственных культур/Техника и оборудование для села, № 4, 2006.

7. Свищевский Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М., 1958.

8. Гольдяпин В.Я. Зарубежный комплекс машин для уборки зерновых культур с обработкой невялого вороха на стационаре/Тракторы и с.-х. машины, № 5, 2008.

9. Карпенко А.Н. и др. Сельскохозяйственные машины. – Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Колос, 1975.

10. Исходные данные на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. – М., 2005.

11. Методические рекомендации по выбору конкурентоспособных зерноуборочных комбайнов для сельхозтоваропроизводителей Краснодарского края. – Краснодар, 2009.