

УДК 631.372-621.453.3

Сравнительная оценка энергетической эффективности пахотных агрегатов на базе тракторов с дизельным и газотурбинным двигателями

Д-ра техн. наук В. С. ШКРАБАК (СПбГАУ, v.shkrabak@mail.ru), Н. И. ДЖАББОРОВ (ИАЭП),
канд-ты техн. наук Р. В. ШКРАБАК (СПбГАУ), Д. С. ФЕДКИН (ИАЭП)

Аннотация. Представлены результаты сравнительной оценки эффективности пахотных агрегатов на базе тракторов К-701 и К-701 "Турбо" с серийным и газотурбинным двигателями и плуга ПЛН-9-35 по затратам энергии на технологический процесс.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, энергозатраты, пахотный агрегат, технологический процесс, производительность, дизельный двигатель, газотурбинный двигатель (ГТД).

Comparative evaluation of energy efficiency of ploughing units on the basis of tractors with diesel and gas-turbine engines

V. S. SHKRABAK (Saint-Petersburg State Agrarian University, v.shkrabak@mail.ru), N. I. DZHABBOROV (Institute for Agricultural Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production),
R. V. SHKRABAK (Saint-Petersburg State Agrarian University), D. S. FEDKIN (Institute for Agricultural Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production)

Summary. The article presents the results of comparative evaluation of the efficiency of energy costs for technological process of ploughing units on the basis of the serial tractor (K-701), the gas-turbine engined one (K-701 Turbo) and the ПЛН-9-35 plough.

Keywords: energy efficiency, energy costs, ploughing unit, technological process, performance, diesel engine, gas-turbine engine.

Перспективность использования ГТД в наземных условиях не вызывает сомнений. Об этом свидетельствуют результаты научных исследований и практических работ, выполненных зарубежными [1, 2] и отечественными [3–10] специалистами за последние три четверти века. ГТД применяются в конструкции автомобилей [5], строительных и дорожных машин [3], тракторов [2, 3], транспортных машин [7]. Это подтверждает их существенные преимущества по сравнению с поршневыми двигателями по ряду эксплуатационно-энергетических, эргономических, экологических, массогабаритных и технико-экономических параметров [7, 9–11].

Указанные обстоятельства способствуют продолжению интенсивных исследований в данном направлении. Как показывают их результаты, в практике использования ГТД выявлен ряд новых положительных факторов, существенно влияющих на распространение этих двигателей в разных отраслях (железнодорожный, автомобильный, речной и морской транспорт, горнодобывающая промышленность, военно-промышленный комплекс и др.).

Что касается сельского хозяйства, то повышение эффективности технологий с.-х. производства неразрывно связано с рациональным выбором и агрегатированием средств механизации технологических процессов. Поэтому научно обоснованный выбор энергетических средств с целью обеспечения энергоэффективности технологических процессов — актуальная задача.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, показали перспективность приме-

нения в сельском хозяйстве (в первую очередь в растениеводстве и на транспортных работах) тракторов, оснащенных автотракторными ГТД [4, 6, 7, 9, 10–13].

Проведены исследования по сравнительной оценке энергетической эффективности использования пахотных агрегатов на базе тракторов К-701 и К-701 "Турбо" с серийным и газотурбинным двигателями.

Применяемые в настоящее время методы оценки эффективности технических средств, технологических процессов и технологий производства с.-х. продукции по затратам труда и экономическим показателям в ряде случаев недостаточны, поскольку эти показатели имеют существенные колебания, определяемые политикой ценообразования, и не позволяют установить и прогнозировать уровень необходимых затрат энергии.

Энергетический анализ позволяет оценивать применяемые и новые технические средства и их перспективность с точки зрения энергетической эффективности.

Сравнительную оценку эффективности использования технических средств целесообразно провести по затратам совокупной энергии на технологические процессы, т. е. по показателю энергоёмкости технологического процесса Θ_i .

Энергоёмкость технологического процесса основной обработки почвы пахотными агрегатами К-701 + ПЛН-9-35 и К-701 "Турбо" + ПЛН-9-35 можно определить по формуле [12]:

$$\Theta_i = [g_T(\alpha_T + f_T)]W_q^{-1} + g_y W_q^{-1} + g_{yp} W_q^{-1}, \quad (1)$$

где Δ_i — топливно-энергетические затраты на i -й технологический процесс, МДж/га; g_T — количество израсходованного топлива, кг; α_T — теплосодержание топлива, МДж/кг; f_T — коэффициент, учитывающий дополнительные энергозатраты на производство топлива, МДж/кг; g_y — энергетические затраты, пропорциональные расходу материалов при выполнении технологического процесса; $g_{уп}$ — условно-постоянная часть энергетических затрат; $W_{ч}$ — производительность агрегата за 1 ч сменного времени, га/ч.

Количество израсходованного топлива:

$$g_T = G_{Tp} T_p + G_{Tx} T_x + G_{To} T_o, \quad (2)$$

где G_{Tp} , G_{Tx} , G_{To} — часовой расход топлива двигателем соответственно при рабочем ходе, на холостых переездах и поворотах и во время остановок агрегата с работающим двигателем, кг/ч; T_p , T_x , T_o — соответственно чистое рабочее время, время на холостые переезды и повороты, время остановок агрегата с работающим двигателем, ч.

Энергозатраты:

$$g_y = \alpha_o q_a T_{cm} T_{ог}^{-1}, \quad (3)$$

где α_o — энергетический эквивалент (затраты энергии на производство единицы данного вида технологического материала), МДж/кг; q_a — расход технологического материала (семян, удобрений, пестицидов и др.) в единицу времени, кг/ч; T_{cm} — время смены, ч; $T_{ог}$ — срок действия технологического материала.

Условно-постоянная часть энергозатрат:

$$g_{уп} = E_{ж} + E_T + E_M + E_C, \quad (4)$$

где $E_{ж}$ — энергозатраты живого труда, МДж/ч; E_T , E_M , E_C — энергоемкость энергетического средства (трактора), машины и сцепки, МДж/ч.

Сравнительные экспериментальные исследования работы пахотных агрегатов К-701 + ПЛН-9-35 и К-701 "Турбо" + ПЛН-9-35 проведены в хозяйствах Ленинградской обл. По их результатам определены основные показатели эксплуатационно-технологической оценки сравниваемых пахотных агрегатов (см. таблицу).

Приведенные в таблице данные показывают, что у агрегата на базе К-701 "Турбо" установленная глубина обработки (вспашки) на 2 см больше, время основной работы на 1 ч больше, объем выполненной работы больше практически на 1 га, производительность за 1 ч сменного времени больше на 0,39 га по сравнению с агрегатом на базе трактора К-701 с дизельным двигателем. Вместе с тем благодаря более глубокой вспашке, более высокой скорости движения (4,1 м/с против 3,6 м/с у агрегата на базе К-701), большей приспособленности тяговой характеристики ГТД и трактора с ним к внешним нагрузкам, сокращающей количество переключений передач, расход топлива у трактора с ГТД составил 20,3 кг/га против 18,5 кг/га у трактора с дизелем (ниже на 8,85 %).

На основе полученных эксплуатационно-технологических показателей с применением выражений (1)–(4) определены значения энергоемкости технологического процесса основной обработки почвы пахотными агрегатами. У агрегата К-701 + ПЛН-9-35 она составляет 1208,2 МДж на 1 га, у К-701 "Турбо" + ПЛН-9-35 — 1212,45 МДж на 1 га.

Как видно из результатов расчета, энергоемкость технологического процесса, выполняемого этими агрегатами, примерно равна. При этом масса трактора К-701 с дизельным двигателем равна 13,4 т, а масса трактора К-701 с ГТД — 12,53 т. Часовой расход топлива при номинальной мощности двигателя трактора К-701 составляет 55 кг/ч, а у К-701 "Турбо" — 92 кг/ч. Норма амортизационных отчислений на трактор К-701 — 10 %, на К-701 "Турбо" — 5 %. Отчисления на текущий ремонт трактора К-701 (6,8 %) больше, чем на ремонт трактора К-701 "Турбо" (3,5 %). При этом отчисления на техническое обслуживание трактора К-701 (2,5 %) больше, чем на обслуживание трактора К-701 "Турбо" (1,5 %). Преимущество трактора К-701 с дизельным двигателем заключается в том, что его часовой расход топлива при номинальной мощности меньше, чем у трактора К-701 "Турбо".

Несмотря на повышенный часовой расход топлива, трактор К-701 "Турбо", оснащенный ГТД, за счет высокой производительности, меньшей массы и отчислений на амортизацию, текущий ремонт и техническое обслуживание достаточно эффективен.

В подтверждение приведем вкратце результаты испытаний рассматриваемых пахотных агрегатов, проведенных на полях совхоза им. Ленсовета (в пригородной зоне Санкт-Петербурга). Вспашка обоими агрегатами проводилась в одно и то же время, через день после скашивания травы на силос. Были обеспечены абсолютно идентичные условия испытаний.

Начало опыта показало, что пахотный агрегат на базе трактора К-701 смог осуществить вспашку только после съема одного корпуса отвала плуга, тогда как для агрегата с трактором К-701 "Турбо" этого не потребовалось. Сравнение результатов испытаний показало, что производительность агрегата с трактором К-701 "Турбо" на 24,5 % выше, чем у агрегата с трактором К-701. Несмотря на различие в стендовом удельном расходе топлива на 20 % в пользу трактора с дизелем, погектарный расход топлива у пахотного агрегата с трактором К-701 "Турбо" был на 10 % ниже, чем у агрегата с трактором К-701.

Выполненные работы по повышению топливной экономичности ГТД привели к достижению удельного

Эксплуатационно-технологические показатели пахотных агрегатов на базе тракторов К-701 и К-701 "Турбо" с плугом ПЛН-9-35

Показатели эксплуатационно-технологической оценки	К-701 + ПЛН-9-35	К-701 "Турбо" + ПЛН-9-35
Установочная глубина обработки, см	23	25
Рабочая скорость, м/с	3,6	4,1
Режим и передача коробки передач	III-4	III-4
Средняя ширина захвата агрегата, м	3,22	3,2
Время основной работы, ч	2,75	3,75
Коэффициент рабочих ходов	0,54	0,65
Объем выполненной работы, га	10,79	18,7
Производительность за 1 ч сменного времени, га	2,2	2,59
Расход топлива, кг/га	18,5	20,3

расхода топлива в пределах 210—230 кг/(кВт·ч) за счет повышения температуры цикла до 1350 °С благодаря керамической проточной части ГТД. Это позволяет ГТД обеспечить стендовый удельный расход топлива, как у лучших дизелей. Кроме того, тракторы с ГТД обеспечивают снижение энергоемкости технологических процессов на 25—30 %, что может существенно повысить энергетическую эффективность технологий производства с.-х. продукции. Изложенное открывает реальную перспективу широкого применения тракторов с ГТД в сельском хозяйстве (так, уже объявлено о начале серийного производства автомобилей с ГТД в Японии и США).

Литература и источники

1. **Eckert В.** Der Stand der Entwicklung der Transport Turboantrieb // MTZ. — Deutschland: Stuttgart, 1972.
2. **GTE for tractors** // Truck Bus. — 1972, № 8.
3. **Башкиров Д. Д.** и др. Перспективы применения газотурбинных двигателей на строительных и дорожных машинах. — М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1975.
4. **Шкрабак В. С.** и др. Газотурбинный трактор: результаты испытаний // Техника в сельском хозяйстве. — 1983, № 9.
5. **Коссов М. А.** Автомобильные газотурбинные двигатели. — М.: Машиностроение, 1964.
6. **Ждановский Н. С.** и др. Особенности работы газотурбинного двигателя в режимах мощных сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. — 1974, № 4.
7. **Попов Н. С.** и др. Транспортные машины с газотурбинными двигателями / Под общ. ред. Н. С. Попова и С. П. Изотова. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980.
8. **Шкрабак В. С.** Эксплуатационно-эргономические свойства мобильных агрегатов с газотурбинным двигателем: Теория, практика, конструкция. Ч. 1: Теория. — СПб.: СПбГАУ, 1998.
9. **Шкрабак В. С., Джаббаров Н. И.** Эффективность применения газотурбинных двигателей на тракторах сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. — 2015, № 10.
10. **Шкрабак В. С.** и др. Оптимизация энергетических параметров тракторного газотурбинного двигателя // Тракторы и сельхозмашины. — 2015, № 11.
11. **Агеев Л. Е.** и др. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения. — Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1986.
12. **Джаббаров Н. И.** Научные основы энерго-технологической оценки и прогнозирования эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов. — Душанбе: Дониш, 1995.
13. **Методические** рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. — М.: ВИМ, 1989.