

Научная статья  
УДК 62-61

## Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов путём применения водной инжекции во впускной коллектор двигателя

Андрей Васильевич Старцев<sup>1</sup>, Сергей Вячеславович Романов<sup>2</sup>,  
Иван Иванович Сторожев<sup>2</sup>, Тимофей Евгеньевич Алушкин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный аграрный университет

<sup>2</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья

<sup>3</sup> Новосибирский государственный аграрный университет

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований проверки влияния водной инжекции во впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания на технико-экономические показатели работы машинно-тракторного агрегата. Экспериментальные исследования были проведены на машинно-тракторном агрегате в составе трактора МТЗ-80 и стерневой сеялки СКП-2,1. В результате исследований было установлено, что оптимальное значение цикловой подачи воды должно составлять около 28 % от цикловой подачи дизельного топлива. В результате проведённых хозяйственных испытаний машинно-тракторных агрегатов в составе трактора тягового класса 1,4, с двигателем, оснащённым устройством для водной инжекции, в сельском хозяйстве Российской Федерации установлено получение годового экономического эффекта более 130 тыс. рублей на один агрегат в год. Годовой энергетический эффект от применения водной инжекции находится на уровне 100 тыс. МДж/год. Годовой экологический эффект, обусловленный снижением вредных выбросов в связи с экономией дизельного топлива, достигает более 700 рублей на один трактор в год. Кроме того, наблюдается значительное снижение выбросов оксидов углерода и азота. Доказано, что применение водной инжекции является эффективным способом повышения топливной экономичности и экологической безопасности использования машинно-тракторных агрегатов с тракторами тягового класса 1,4 в сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** водная инжекция, машинно-тракторный агрегат, двигатель внутреннего сгорания, экономический эффект, цикловая подача.

**Для цитирования:** Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов путём применения водной инжекции во впускной коллектор двигателя / А.В. Старцев, С.В. Романов, И.И. Сторожев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 109–113.

## Improving the efficiency of the use of machine and tractor units by applying water injection into the intake manifold of the engine

Andrey V. Startsev<sup>1</sup>, Sergey V. Romanov<sup>2</sup>, Ivan I. Storozhev<sup>2</sup>, Timofey E. Alushkin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> South Ural State Agrarian University

<sup>2</sup> State Agrarian University of the Northern Trans-Urals

<sup>3</sup> Novosibirsk State Agrarian University

**Annotation.** The article presents the results of studies to check the effect of water injection into the intake manifold of the internal combustion engine on the technical and economic performance of the machine and tractor unit. Experimental studies were carried out on a machine-tractor unit consisting of a tractor MTZ-80 and a stubble seeder SKP-2,1. As a result of the conducted studies, it was found that the optimal value of the cyclic water supply should be about 28 % of the cyclic diesel fuel supply. As a result of the conducted economic tests of machine-tractor units as part of a tractor of traction class 1.4, with an engine equipped with a device for water injection, in the agriculture of the Russian Federation, it was established that the annual economic effect of more than 130 thousand rubles per unit per year was obtained. The annual energy effect from the use of water injection is at the level of 100 thousand tons. MJ/year. The annual environmental effect, due to the reduction of harmful emissions due to the economy of diesel fuel, reaches more than 700 rubles per tractor per year. In addition, there is a significant reduction in carbon and nitrogen oxide emissions.

**Keywords:** water injection, machine-tractor unit, internal combustion engine, economic effect, cycle feed.

**For citation:** Startsev A.V., Romanov S.V., Storozhev I.I., Alushkin T.E. Improving the efficiency of the use of machine and tractor units by applying water injection into the intake manifold of the engine. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 109–113. (In Russ.).

Современное сельское хозяйство невозможно представить без механизации производственных процессов. В этой связи повышение производительности в сельском хозяйстве определяется эффективностью и топливной экономичностью применяемых средств механизации. По данным проведённых исследований, доля потребления энергоресурсов сельским хозяйством РФ достигает 12,5 % от общего энергопотребления страны. Очевидно, что проблема снижения требует своего безотлагательного решения за счёт реализации программных мероприятий, целью которых является опережение темпов энергосбережения перед наращиванием объёмов добычи и производства энергоресурсов. Особенно это актуально для топлива, полученного из нефтяного сырья.

**Целью исследования** является оценка влияния водной инжекции во впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания на топливную экономичность и технико-экономические показатели работы мобильных сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов.

Анализ обеспеченности Российской Федерации энергоресурсами показывает, что запасы нефти неизбежно исчерпываются, в связи с чем имеет место неизбежное увеличение затрат на её добычу. Следствием этого является рост цен на углеводородное топливо (несмотря на конъюнктурные колебания рынка нефтепродуктов). Таким образом, снижение расхода топлива нефтяного происхождения двигателями сельскохозяйственных машин и тракторов является первоочередной задачей в борьбе за повышение эффективности сельского хозяйства. Учитывая современный уровень механизации сельскохозяйственных производственных процессов, данная

проблема становится достаточно актуальной. Применение водной инжекции является одним из перспективных путей увеличения мощности двигателя трактора и, как следствие, снижения энергозатрат при использовании машинно-тракторных агрегатов (МТА) [1–3].

Под энергосберегающими технологиями производства продукции растениеводства «следует понимать не уменьшение общего количества энергозатрат на возделывание и уборку сельскохозяйственных культур, а возможный и экономически целесообразный минимум энергозатрат на единицу продукции» [4]. На рисунке 1 представлена схема взаимосвязи параметров механизированного процесса с показателями его эффективности.

Анализ представленной схемы показывает, что механизированный производственный процесс представляет собой систему из трёх основных взаимосвязанных элементов: предметов труда, средств труда и живого труда. На наш взгляд, результатом механизированного процесса в сельском хозяйстве является произведённое количество продукции определённого качества, выраженное в денежном или натуральном исчислении. Затраты включают затраты денежных средств, живого труда, а также энергетические и другие аналогичные виды материальных затрат, выраженные в денежном или натуральном исчислении.

Проведённый нами анализ литературных источников показал, что качество и своевременность выполнения технологических операций в сельском хозяйстве (особенно в растениеводстве) определяется производительностью и экономичностью МТА. Причём эти показатели тесно взаимосвязаны и определяются техническими

параметрами (характеристиками) двигателей сельскохозяйственных машин и тракторов.

Нужно особо отметить, что в настоящее время и на обозримую перспективу двигатели внутреннего сгорания (ДВС) по-прежнему останутся основным источником энергии мобильных МТА. При этом углеводородное топливо останется не только основным видом топлива, но и, учитывая его постоянное удорожание, в значительной мере будет определять стоимость выполненной работы. Уже сегодня в растениеводстве в зависимости от вида выполняемых работ и типа применяемых МТА в структуре себестоимости доля затрат на топливо достигает 15 до 25 %. Как уже было отмечено ранее, в перспективе эта доля будет расти в соответствии с изменениями мировой ценовой конъюнктуры на энергоносители.

С целью исследования эффективности применения водной инжекции для улучшения технико-экономических показателей работы машинно-тракторного агрегата в составе трактора МТЗ-80

и стерневой сеялки СКП-2,1 авторами статьи в ГАУ Северного Зауралья были проведены поисковые экспериментальные исследования.

**Результаты исследования.** В результате проведённых экспериментальных исследований было установлено, что применение водной инжекции во впускной коллектор двигателя 4Ч 11/12,5 (Д-240) позволяет увеличить номинальную эффективную мощность с 55,15 кВт до 65,84 кВт (на 10,69 кВт). Оптимальное значение цикловой подачи воды составляет около 28 % от цикловой подачи дизельного топлива. Нужно сказать, что полученные значения цикловой подачи воды согласуются с ранее проведёнными И.И. Сторожевым исследованиями [5]. Согласно этим исследованиям, цикловая подача воды должна составлять около 26–32 % от цикловой подачи дизельного топлива. Эти выводы не противоречат исследованиям О.И. Быстрова [6]. Согласно его данным, максимально возможная цикловая подача воды может составлять 33 %, или третью часть от цикловой подачи топлива.

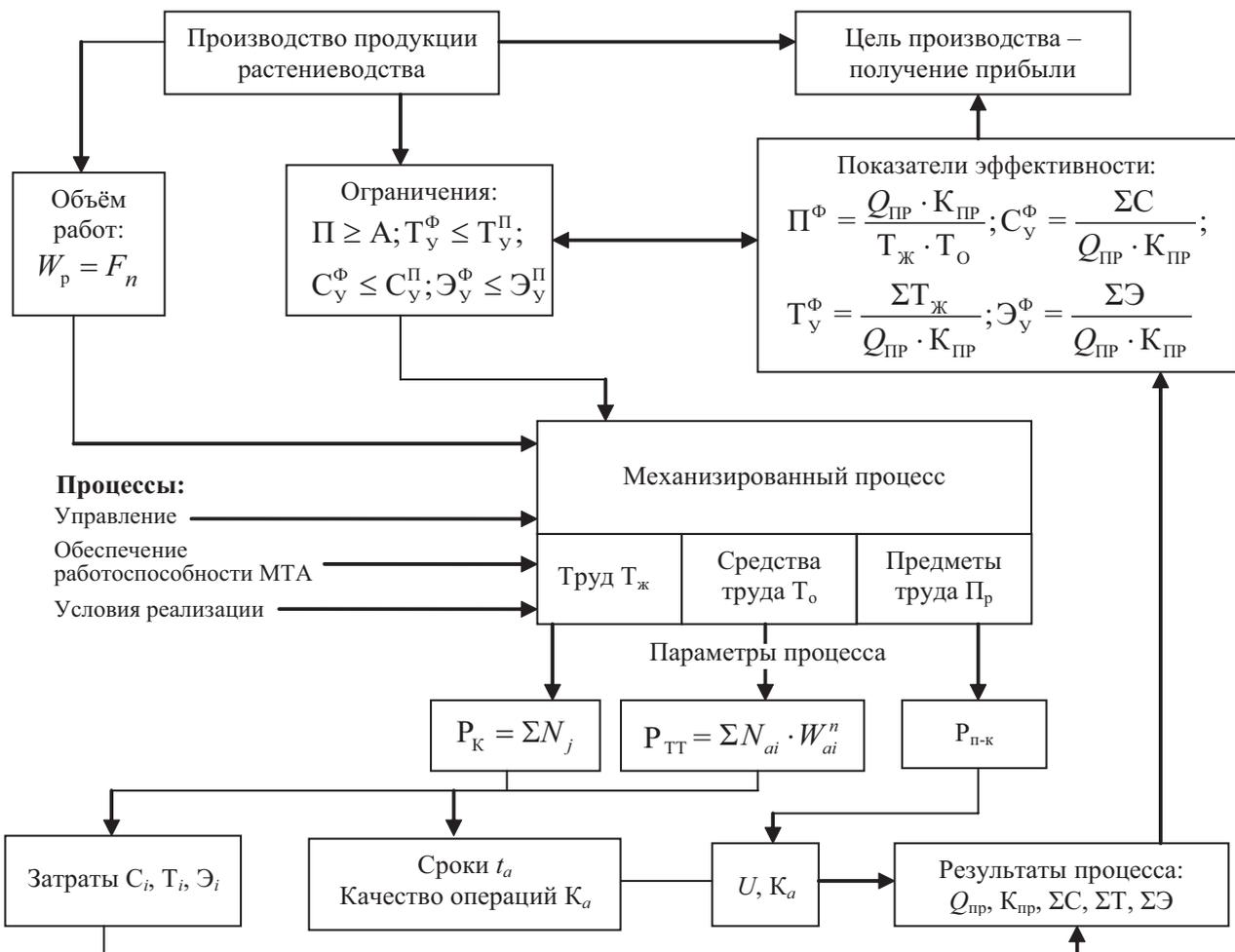


Рис. 1 – Схема взаимосвязи параметров механизированного процесса с показателями его эффективности [4]:  $\Pi$  – производительность общественного труда;  $C_i, T_i, \mathcal{E}_i$  – затраты денежных средств, труда, энергии;  $F_n$  – площадь возделывания культуры и количество операций технологии;  $N_j, N_j$  – количество рабочих  $j$ -й квалификации,  $i$ -х агрегатов соответственно;  $W_{ai}$  – потенциальная производительность МТА;  $P_k, P_{TT}, P_{п-к}$  – ресурсы трудовые, технико-технологические, природно-климатические соответственно

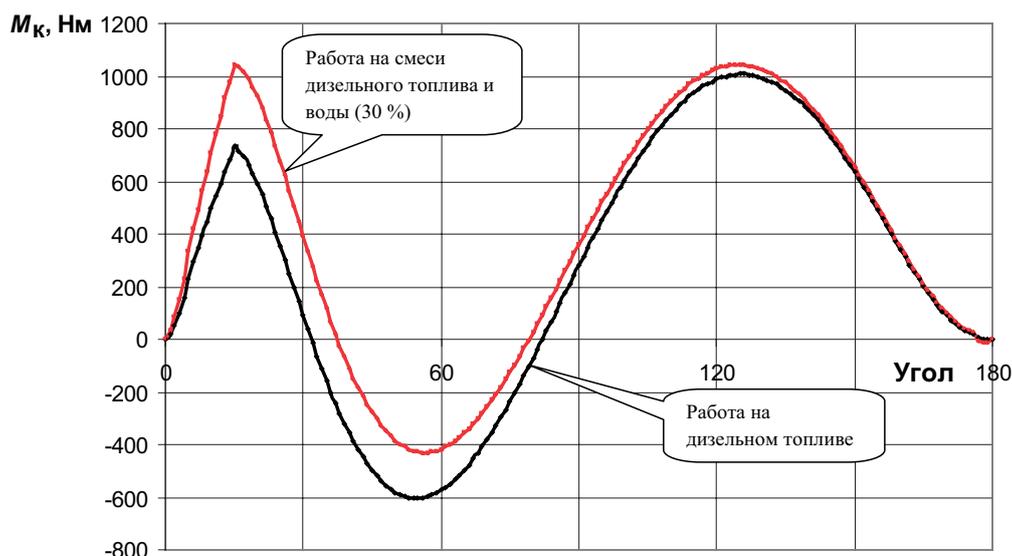


Рис. 2 – Диаграмма изменения суммарного индикаторного крутящего момента дизельного двигателя 4Ч 11/12,5

Кроме того, было установлено, что применение водной инжекции благотворно влияет на экологические показатели работы двигателя. Наблюдается устойчивое снижение вредных выбросов. В частности, отмечено снижение оксидов углерода, которое на номинальном режиме работы двигателя 4Ч 11/12,5 (Д-240) составляет  $0,17 \text{ мг/м}^3$  (снижение на 39,3 %). Содержание оксидов азота составляет  $2,90 \text{ мг/м}^3$  (снижение на 33,3 %). Мы полагаем, что снижение оксидов азота, особенно при работе двигателя на корректорной ветви внешней скоростной характеристики, происходит вследствие дополнительного охлаждения двигателя.

Снижение дымности отработавших газов при применении водной инжекции отмечено на всех режимах работы двигателя. Максимальное снижение дымности отработавших газов достигает 0,20 % (снижение на 8,33 %).

Нужно особо отметить, что если использовать размерность по ГОСТу Р 41.96-2011 [7], согласно которому содержание вредных веществ в отработавших газах следует измерять «...в расчёте на единицу мощности за час работы (г/Вт·ч)», то полученный эффект от применения водной инжекции будет ещё больше. Это объясняется тем, что одновременно происходит повышение эффективной мощности двигателя. Среднее увеличение мощности колеблется в пределах 15–20 %, в зависимости от режима работы двигателя.

Увеличение мощности двигателя объясняется повышением индикаторного давления (в среднем на 18–22 %), что в свою очередь приводит к увеличению суммарного крутящего момента (рис. 2).

Проведение хозяйственных испытаний машинно-тракторных агрегатов в составе трак-

торов тягового класса 1,4, с двигателями, оснащёнными устройством для водной инжекции, в сельском хозяйстве Российской Федерации позволило говорить о величине среднего годового экономического эффекта более 130–150 тыс. рублей на один агрегат в год (в ценах 2018 г.).

Годовой энергетический эффект от применения водной инжекции находится на уровне 100 тыс. МДж/год.

Годовой экологический эффект за счёт снижения вредных выбросов в связи с экономией дизельного топлива достигает более 700–900 руб. на один трактор (в ценах 2018 г.). Кроме того, наблюдается значительное снижение выбросов оксидов углерода и азота.

**Вывод.** Применение водной инжекции является эффективным способом повышения топливной экономичности и экологической безопасности использования машинно-тракторных агрегатов с тракторами тягового класса 1,4 в сельском хозяйстве Российской Федерации.

### Литература

1. Старцев А.В., Романов С.В. Повышение эффективности работы дизельного двигателя за счёт использования водной инжекции // *Агропродовольственная политика России*. 2014. № 12 (36). С. 57–60.
2. Романов С.В., Вагин Д.В. Повышение топливной экономичности машинно-тракторных агрегатов на базе тракторов МТЗ-80/82 при использовании водной и водоспиртовой инжекции // *Международный технико-экономический журнал*. 2015. № 1. С. 95–99.
3. Романов С.В. Повышение топливной экономичности дизельного двигателя путём использования водотопливных эмульсий и водной инжекции // *Роль науки в развитии общества: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф.* / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа, 2014. С. 60–63.
4. Плаксин А.М. Энергетика мобильных агрегатов в растениеводстве: учеб. пособие. Челябинск: ЧГАУ, 2005. 204 с.

5. Сторожев И.И. Повышение топливной экономичности тракторов МТЗ-80/82 на сельскохозяйственных работах за счёт использования водно-воздушной смеси: дис... канд. техн. наук. Челябинск: ЧГАА, 2011. 161 с.

6. Быстров О.И. Повышение экономических и экологических показателей дизеля путём реализации

комбинированного шеститактного цикла: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2008. 157 с.

7. ГОСТ Р 41.96-2011. Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями.

**Андрей Васильевич Старцев**, доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет». Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, sav.63.10.04@mail.ru

**Сергей Вячеславович Романов**, кандидат технических наук. ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, romanovsv@gausz.ru

**Иван Иванович Сторожев**, кандидат технических наук. ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, storozhevii@gausz.ru

**Тимофей Евгеньевич Алушкин**, кандидат технических наук. Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет». Россия, 634050, г. Томск, ул. Карла Маркса, 19, alushkin.te@gausz.ru

**Andrey V. Startsev**, Doctor of Technical Sciences, Professor. South Ural State Agrarian University. 75, Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia, sav.63.10.04@mail.ru

**Sergey V. Romanov**, Candidate of Technical Sciences. Northern Trans-Ural State Agricultural University. 7, Republic St., Tyumen, 625003, Russia, romanovsv@gausz.ru

**Ivan I. Storozhev**, Candidate of Technical Sciences. Northern Trans-Ural State Agricultural University. 7, Republic St., Tyumen, 625003, Russia, storozhevii@gausz.ru

**Timofey E. Alushkin**, Candidate of Technical Sciences. Tomsk Agricultural Institute is a branch of Novosibirsk State Agrarian University. 19, Karl Marx St., Tomsk, 634050, Russia, alushkin.te@gausz.ru