

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

© Раков В.А.,  
Литвинов В.И.



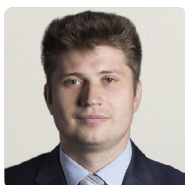
**Вячеслав Александрович Раков**

Вологодский государственный университет

Российская Федерация, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15

E-mail: vyacheslav.rakov@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4725-5839; ResearcherID: M-9939-2016



**Владимир Игоревич Литвинов**

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина

Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Емельянова, д. 1

E-mail: lit.vinov@mail.ru

Одним из способов улучшить эксплуатационные характеристики энергоустановки сельскохозяйственной машины является стабилизация нагрузочного режима двигателя внутреннего сгорания. В статье рассматривается методика расчета характеристик двигателя в составе комбинированной электромеханической энергетической установки (КЭУ) сельхозмашины. Предлагаемая методика позволяет определить возможную мощность первоисточника энергии КЭУ – двигателя внутреннего сгорания и экономичность сельхозмашины в целом. Представлены способы стабилизации нагрузочного режима с помощью последовательной и параллельной схем передачи энергии в энергоустановке. В качестве исходных данных используются цикл работы машины с изменением ее скоростного или нагрузочного режима, масса машины, энергетические характеристики трансмиссии, самих электрических машин, преобразователей напряжения, накопителя электрической энергии и двигателя внутреннего сгорания. В процессе расчета вычисляется баланс потребления энергии машиной на протяжении всего цикла. Далее определяется количество энергии, проходящей от двигателя на рабочий орган машины по каждой из рассматриваемых цепочек: механической, электрической и накопительной. Преимуществом представленной методики является возможность получить различные комбинации характеристик двигателя внутреннего сгорания и других элементов КЭУ, т. е. можно задать любое значение емкости электрического накопителя и получить необходимую мощность двигателя внутреннего сгорания и расход топлива. Также благодаря данной методике можно определить наиболее подходящий тип КЭУ для заданных условий эксплуатации. Для примера в статье приводятся результаты расчета для трактора массой 4,5 тонны. Благодаря уменьшению скачков нагрузок удалось

*снизить мощность двигателя внутреннего сгорания для совершаемой работы с 60 до 11 кВт. Вследствие стабилизации нагрузочного режима и устранения неэффективных режимов работы снижаются удельные показатели расхода топлива сельскохозяйственной машиной.*

*Нагрузочный режим, расход топлива, комбинированная энергоустановка, трансмиссия, режим работы.*

Повышения рабочих параметров у сельскохозяйственных машин с классическим дизельным или бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) можно достичь с помощью устойчивого графика энергетической установки.

Наименьшего удельного расхода топлива двигателя можно добиться на нагрузочном режиме, приближенном к наивысшему крутящему моменту двигателя [1, с. 18; 2, с. 25; 3, с. 120]. Однако в полевых условиях скачки нагрузки на рабочем органе могут привести к неравномерному режиму работы и, соответственно, увеличению расхода топлива. Чаще всего в данной ситуации выровнять нагрузку на рабочем органе не получается, например, во время начала движения груженого трактора или при включении кормораздатчика либо при опускании плуга в почву. Для прохождения максимальных нагрузок транспортного средства в период работы необходимо существенно увеличивать мощностной резерв двигателя, что, в свою очередь, ведет к большой недозагрузке и повышению потерь холостого хода.

### **Цель исследования**

Комбинированная энергетическая установка (КЭУ), которая позволяет уменьшать мощность двигателя внутреннего сгорания за счет обоснованного его нагружения.

### **Материалы, методы и объекты исследования**

Другим способом решения вопроса, касающегося выравнивания нагрузочного

режима двигателя сельхозмашины, может быть применение маховичного накопителя энергии или комбинированного привода взамен привычного двигателя внутреннего сгорания. К сожалению, производство маховичного накопителя с безвоздушной камерой и магнитными подшипниками для трактора – вопрос очень дорогостоящий, кроме этого, необходимо применять особый способ передачи мощности от двигателя на вал маховика и далее на рабочий орган. Наиболее легким представляется использование комбинированных энергетических машин (КЭУ) с электромеханической коробкой передач и электрическим накопителем энергии [4, с. 2]. Такого рода техника известна давно, и для сельского хозяйства также есть предложения [5, с. 10].

В числе подобных машин необходимо выделить трактор «Беларус-3023». Данная сельхозмашина располагает электромеханической передачей с последовательной моделью передачи энергии, с возможностью передавать механическую энергию от дизельного двигателя без ступенчатой передачи.

Трактор ДЭТ-400, тягового класса – 25. Тяговый привод КЭУ выдает крутящий момент на ведущие колеса с помощью последовательной передачи через генератор переменного электротока мощностью 225 кВт и два тяговых электрических двигателя мощностью по 110 кВт. В данной ситуации серьезной экономии топлива также нет, главное достоинство – это упрощенное регулирование крутящего момента.

В Московском государственном агроинженерном институте разработан трактор с КЭУ на базе ВТЗ-2048А, который имеет схему параллельного типа с буферным накопителем электрической энергии со сверхвысокомощным конденсатором.

Компания «Volvo» для работ в лесу создала форвардер EL-forest F14, также имеющий КСУ с последовательной схемой. Государственная лесохозяйственная компания из Швеции «Sveaskog» запустила в серию самозагружающийся трактор для трелевки леса EL-Forest F14. У форвардера небольшой дизельный двигатель, приводящий в действие генератор, питающий через аккумуляторные батареи электромоторы, расположенные в колесах трактора.

Существует и полностью электрический трактор, это модель e100 «Vario». Он очень компактный, обладает мощностью 50 кВт (68 л. с.), способен работать без подзарядки до 5 часов. Дополнительный запас энергии в нем генерируется с помощью рекуперативного торможения. Роль накопителя энергии играет 650-вольтовая литий-ионная аккумуляторная батарея с емкостью 100 кВт/ч, которую можно заряжать до 80% в течение 0,7 часа. От бытовой сети время заряда существенно увеличивается.

Сельскохозяйственная машина с комбинированной энергетической установкой в сравнении с традиционной универсальной сельскохозяйственной машиной имеет следующие значимые достоинства:

- повышенный крутящий момент на ведущих колесах во время движения с места и выхода в рабочий режим;
- облегчение сложной многоступенчатой коробки передач и, соответственно, уменьшение физической нагрузки на оператора;
- допустимость повышения эффективности и обеспечение устойчивости нагрузочных режимов энергетической установки по наименьшему расходу топлива;

– снижение величины необходимой мощности ДВС.

Существует клише о том, что трактор с КЭУ более экономичный. Однако это не всегда так. По сути, энергия в КЭУ распространяется к двигателю по наиболее долгому пути, включающему в себя электрогенератор, устройство управления, аккумуляторную батарею, электродвигатель. В связи с этим комбинированная энергетическая установка в сравнении с энергоустановкой, состоящей из двигателя внутреннего сгорания с традиционной коробкой передач, все-таки ущербна. Кроме этого, цена КЭУ гораздо больше из-за сложности конструкции, в которую входят дополнительные компоненты: электродвигатель, силовой инвертор, генератор и аккумуляторная батарея.

Невзирая на важные недостатки, плодотворное использование КЭУ в сельскохозяйственных машинах возможно.

Результативность КЭУ, в первую очередь, обуславливается конструктивной моделью передачи энергии на рабочий орган машины (схемы КЭУ). С учетом организации использования применяется один из трех сценариев переноса энергии на рабочий орган: последовательный, параллельный или смешанный [6, с. 17; 7, с. 115; 8, с. 120].

Выбирая тип схемы энергетической установки, необходимо принимать во внимание следующие обстоятельства: первоначальная цена используемых составных частей тягового привода, компоновка и надежность. Кроме этого, существенным будет являться и подбор подходящих характеристик главных элементов.

Авторы предлагают выбрать наиболее эффективную модель привода для обеспечения устойчивости нагрузочного режима с помощью сравнения энергетических вычислений, в которых учтены все затраты при передаче энергии в приводе.

В последовательной схеме соединения элементов двигатель нагружается одним

генератором, энергия от него направляется на тяговый электрический двигатель. Выравнивание нагрузочного режима в данном случае будет проводиться благодаря присутствию тягового накопителя энергии, выравнивающего скачки нагрузки. Если вырабатываемая двигателем внутреннего сгорания энергия не может быть реализована, то он может быть выключен на какое-то время [9, с. 159].

В соответствии с вышесказанным можно утверждать, что вся выдаваемая ДВС энергия потратится на движение, заряд аккумулятора и потери в приводе (рис. 1).

Для нахождения приемлемой мощности ДВС, работающего совместно с электрическим приводом, необходимо знать характеристики машины (масса, площадь лобового сопротивления), условия нагружения при движении и характеристики самих элементов привода (трансмиссии, электромотора, накопителя энергии, силового преобразователя, генератора).

Блок-схема общей цепочки потерь в последовательном приводе представлена на рис. 1а.

При вычислениях использовался алгоритм, выполненный в программе расчета ГСУ-АВТО [10, с. 1]. С его помощью получены теоретические зависимости.

Параметры нагружения сельхозмашины в течение деятельности указываются. Кроме этого, их можно получить экспери-

ментально, зная, как изменяются параметры во время движения по данному маршруту, либо указать любую теоретическую модель. В нашем случае в качестве примера взят теоретический ездовой цикл.

При использовании формулы тягового расчета были определены силы сопротивления, действующие на сельхозмашину в каждой  $i$ -й точке.  $N_{ki}$  – сила сопротивления качению;  $N_{даi}$  – сила сопротивления вспомогательных агрегатов;  $N_{иi}$  – сила сопротивления инерции;  $N_{пi}$  – сила сопротивления подъему [11, с. 37].

Общая сила сопротивления, действующая на трактор в каждой точке измерения, будет равна сумме всех сил:

$$N_{ci} = N_{ki} + N_{даi} + N_{иi} + N_{пi}, [кВт] \quad (1)$$

Средняя мощность тяги на всем отрезке движения  $N_{ср.пол}$  выражает усредненную величину исключительно положительных значений мощности тяги на всем расчетном участке. В действительности она является средней мощностью привода КЭУ без учета возвращенной от восстановления энергии:

$$N_{ср.пол} = \frac{\sum_1^n N_{ср.пол.i}}{n}, [кВт] \quad \sum N_T > 0 \quad (2)$$

Средняя отрицательная мощность на всем участке движения –  $N_{т.ср}$  демонстрирует средние данные только отрицатель-

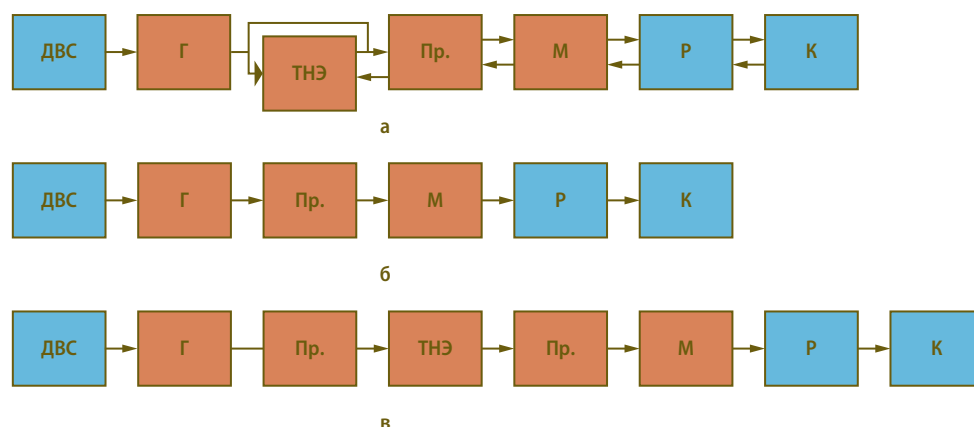


Рис. 1. Блок-схемы потерь в последовательной схеме привода: а) общая цепочка потерь; б) при прямой передаче энергии; в) при передаче энергии через тяговый накопитель

ных значений мощности тяги на всем расчетном участке. Фактически это средняя мощность, поглощенная тормозными устройствами или возвращенная обратно в накопитель энергии:

$$N_{T.CP} = \frac{\sum_1^n N_{T.OTPi}}{n}, [кВт] \sum N_T < 0 \quad (3)$$

Двигатель внутреннего сгорания в последовательной схеме не управляет скоростным режимом движения, а действует в наиболее благоприятном для себя постоянном режиме, выдавая всю выделяемую мощность на заряд ТНЭ и движение. В случае если нагрузка на колеса отсутствует, а батарея заряжена полностью, мощность не реализуется, и в данной ситуации ДВС выключается. Из этого следует, что вся вырабатываемая ДВС мощность будет израсходована на движение и потери в приводе [12, с. 5].

Кроме этого, доля израсходованной энергии возвратится за счет рекуперации торможения, из чего можно заключить:

$$N_{ДВС} = \frac{N_{CP.ПОЛ}}{K \times \eta_{П}} - N_{T.CP} \times \eta_{Р} = \\ = \frac{N_{ПР.CP} + N_{НЭ.CP}}{K \times \eta_{П}} - N_{T.CP} \times \eta_{Р}, [кВт], \quad (4)$$

где:

$N_{ДВС}$  – необходимая мощность ДВС с учетом потерь в приводе, кВт;

$K$  – коэффициент эффективного режима работы ДВС на данном участке, найден экспериментальным путем [13, с. 4];

$\eta_{П}$  – КПД привода;

$\eta_{Р}$  – КПД рекуперации на маршруте;

$N_{ПР.CP}$  – средняя мощность, потребляемая напрямую от генераторной установки на маршруте;

$N_{НЭ.CP}$  – средняя мощность, проходящая через накопитель энергии на маршруте.

Частично энергия передается от ДВС непосредственно на колеса по прямой цепочке (рис. 1б), частично – через накопитель энергии. В том и другом случае потери будут разными. Из этого следует, что каждую цепочку потерь необходимо рассматривать в отдельности.

Средняя мощность привода на участке, переданная прямо на колеса транспортного средства, будет равна всей средней мощности  $N_{CP.ПОЛ}$  за вычетом той, которая передается через накопитель энергии  $N_{НЭ.CP}$  (см. формулу 1).

$$N_{ПР.CP}(N_1) = N_{CP.ПОЛ} - N_{НЭ.CP}, [кВт] \quad (5)$$

Прямая мощность с учетом потерь в цепочке привода:

$$N_1 = \frac{N_{ПР.CP}}{K \times \eta_{П}}, [кВт], \quad (6)$$

где:

$\eta_{П}$  – КПД привода.

Блок-схема цепочки потерь при передаче энергии через накопитель показана на рис. 1в.

Средним значением мощности  $N_{ПОЛ.CP}$  будет считаться средняя мощность, проходящая через тяговый накопитель энергии (ТНЭ)  $N_{НЭ.CP}$  на испытуемом участке.

$$N_{НЭ.CP} = \frac{\sum_1^n (N_i - N_{ПОЛ.CP})}{n}, [кВт] \\ (\sum \text{если } N_i - N_{ПОЛ.CP} > 0), \quad (7)$$

где:

$n$  – общее количество точек на испытуемом участке.

С учетом потерь в приводе при работе ДВС на оптимальном режиме:

$$N_2 = \frac{N_{НЭ.CP}}{K \times \eta_{П}}, [кВт]$$

Небольшое количество энергии торможения, которая была передана от колес, возвратится в ТНЭ, после чего будет повторно израсходовано на движение, дважды проходя по цепочке потерь.

Мощность, дополнительно получаемая за счет рекуперации на участке ( $N_3$ ), определяется с учетом средней мощности торможения на колесах, заданного КПД рекуперации и КПД цепочки потерь в приводе:

$$N_3 = N_{Т.СР} \times \eta_p \times \eta_{ПР}, [кВт], \quad (8)$$

где:

$\eta_p$  – КПД рекуперации.

Общая или необходимая мощность ДВС определяется исходя из мощности, переданной по прямой цепочке, проходящей через накопитель энергии и возвращенной благодаря рекуперации энергии торможения:

$$N_{ДВС} = N_1 + N_2 - N_3, \quad [кВт] \quad (9)$$

В вычисляемом значении  $N_{ДВС}$  предусматриваются оптимальный по экономич-

ности нагрузочный режим ДВС ( $K \approx 0,75$ ), потери при переносе энергии в цепочке привода.

Из теоретического эксперимента выявлено, что для трактора массой 4,5 т при движении по заданному циклу, по результатам расчета, необходимая мощность ДВС КЭУ будет равняться 10,843 кВт.

На рис. 2 показана схема КЭУ трактора с последовательным соединением элементов.

Параллельная схема КЭУ имеет существенные отличия. Так же как и в традиционной энергетической установке, в данном случае используется механическая передача энергии через ступенчатую коробку передач [13, с. 4]. Один электродвигатель, установленный между ДВС и коробкой передач (параллельно трансмиссии), работает исключительно при разгоне и переходных режимах на другой рабочий режим нагрузки. Излишнюю энергию двигателя при движении генератор берет для заряда накопителя (рис. 3б). Отсюда следует, что предложенная схема используется для частичного сглаживания пиков нагрузки ДВС в ус-

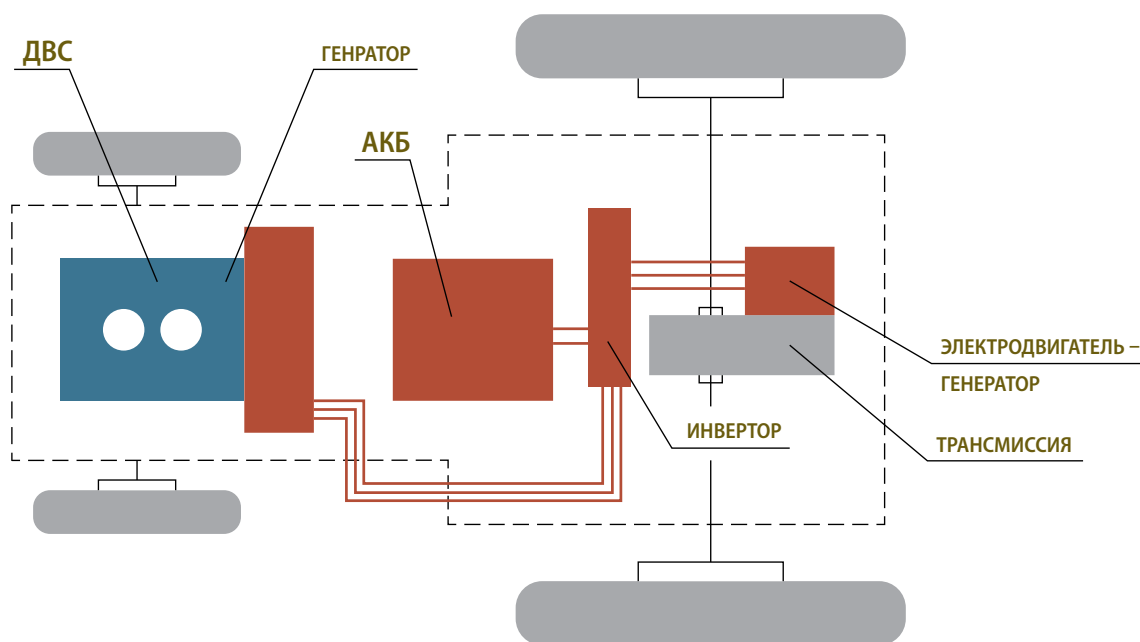


Рис. 2. Схема КЭУ последовательного типа

ловиях трогания с места и подключения мощных рабочих органов, например таких как плуг.

Электрическая машина в параллельной схеме является обратимой, т. е. может работать поочередно как в режиме генератора, так и в режиме электродвигателя. Заряд аккумулятора возможен только при средних и малых нагрузках, а также в режиме торможения двигателем.

Отрицательным моментом параллельной схемы является присутствие неоптимальных режимов, таких как холостой ход.

Согласно особенностям параллельной схемы при расчете необходимо вычислить среднюю потребляемую мощность  $N_{\text{ср.потр. КЭУ}}$  во время работы, но только в тех промежутках времени, когда используется ДВС ( $N_{\text{вых}} > 0$ ) [14, с. 148].

### Результаты исследования

Принимая во внимание потери при переносе энергии, мощность ДВС рассчитывается из суммы мощности, передаваемой по прямому участку, с учетом потерь в механической передаче, и мощности, передаваемой через электродвигатель (МГ) (параллельная цепь). Кроме этого, нужно учитывать потери в цепи привода при передаче энергии от ДВС к аккумулятору, потери в самом аккумуляторе и при передаче энергии к колесам трактора (рис. 3а).

Средняя мощность КЭУ параллельной схемы находится так же, как и для последовательной схемы, с учетом особенностей передачи энергии.

На рис. 4 показан один из возможных вариантов расположения транспортного средства при применении параллельной

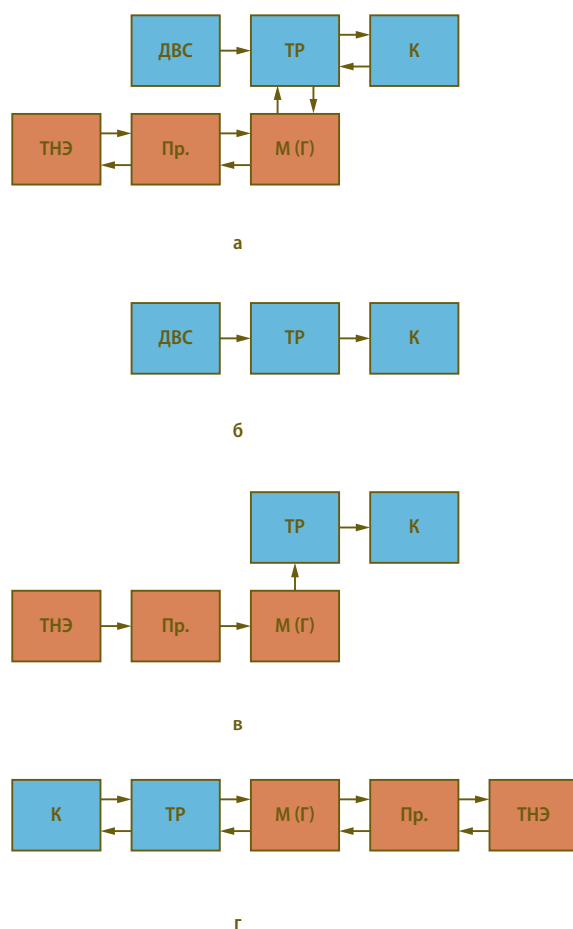


Рис. 3. Блок-схемы потерь в параллельной схеме КЭУ: а) общая цепочка потерь; б) в механической передаче; в) в электрической передаче; г) при реализации мощности, возвращенной при торможении

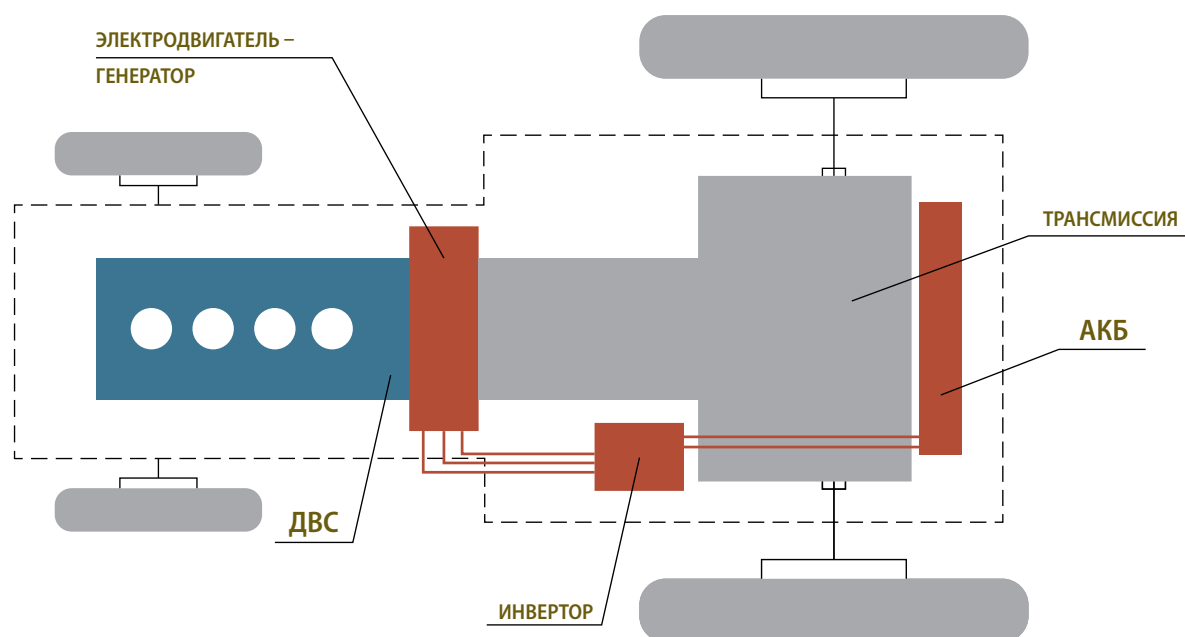


Рис. 4. Схема КЭУ параллельного типа

схемы. В качестве возможного пути вычисления наиболее приемлемых величины КЭУ и характеристик ее составных частей рекомендуется применять тягово-мощностной расчет при движении техники по заданному циклу и алгоритмам, приведенным в ранее выполненных исследованиях.

Общая мощность ДВС определена так же, как и для последовательной схемы, для транспортного средства с типичными техническими характеристиками. Наибольшая мощность ДВС КЭУ с параллельной схемой составила 9,116 кВт, что на 8,4% меньше, чем в последовательной схеме.

Особенности условий движения трактора могут быть разными, они имеют большое значение при определении схемы КЭУ. Это может быть повторяющийся цикл с длительными остановками при  $N_i = 0$  (холостой ход ДВС) и резкими пиками возрастания нагрузки, когда  $N_i \rightarrow N_{MAX}$ . В этом случае средняя мощность ГСУ (для параллельной схемы, ввиду того что не учитываются интервалы отсутствия мощности) будет пытаться приблизиться к максимальной мощности  $N_{СР.ПОЛ.} \rightarrow N_{MAX}$ . При по-

следовательной схеме двигатель внутреннего сгорания может работать независимо от потребляемой нагрузки, вследствие чего его необходимая мощность стремится к средней потребной мощности на всем участке движения  $N_{ДВС} \rightarrow N_{СР.ПОЛ.}$ . В данной ситуации наиболее продуктивной будет последовательная схема привода.

Это может быть длительное движение с практически не изменяющимися характеристиками потребной мощности, приближенной к средним значениям мощности ГСУ с отдельными падениями и скачками нагрузки, холостой ход ДВС практически отсутствует  $N_i \rightarrow N_{ПОТР.СР.}$ . В этой ситуации более приемлема параллельная схема привода.

Обособленной ситуацией станет неизменное значение нагрузки на всем участке движения с очень редкими изменениями:  $N_i \approx N_{MAX} \approx N_{ПОТР.СР.} \approx const$ . При этом минимальные потери будут в приводе со стандартной механической коробкой передач и ДВС. В таком режиме движения комбинированная энергоустановка будет менее экономична, чем традиционная с двигателем внутреннего сгорания [15, с. 5].



## Выводы

При высокой цене на составные части КЭУ, учитывая незначительные колебания нагрузки в тракторе, разумно сохранить имеющиеся ДВС и коробку передач, используя дополнительно электродвигатель-генератор, использующийся в параллельном режиме. Такой режим частично покрывает пики нагрузки, при этом стабилизирует режимы нагрузки и работы энергетической машины. Технологическое развитие в производстве комплектующих позволит уменьшить затраты на создание

более производительной техники, и в ближайшем будущем сельхозмашины с комбинированной энергетической установкой могут получить широкое применение в сельском и коммунальном хозяйстве.

На первом этапе производства трактора с КЭУ представляет интерес уменьшение стоимости. Ее можно достичь, повысив эффективность параметров при транспортировке, например используя подбор характеристик по заданному циклу движения, что и будет реализовано в последующих исследованиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров И.К., Белков А.Л., Раков В.А. Оценка энергетической эффективности ДВС в условиях неустановившегося режима работы // Вестн. машиностроения. 2008. № 6. С. 17–20.
2. Александров И.К., Несговоров Е.В., Раков В.А. Адаптивные трансмиссии – путь к созданию экономичных машинных агрегатов и транспортных средств // Техника в сельском хозяйстве. 2011. № 1. С. 25–27.
3. Использование комбинированной энергоустановки с накопителем энергии на тракторе / М.Н. Ерохин [и др.] // Тр. НАМИ. 2009. № 241. С. 119–122.
4. Раков В.А. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография. Вологда: ВоГУ, 2020. 256 с.
5. Раков В.А., Александров И.К. Определение мощности, потребляемой транспортным средством при неустановившихся режимах работы // Автомобильная промышленность. 2013. № 5. С. 9–11.
6. Александров И.К., Несговоров Е.В., Раков В.А. Тяговый расчет транспортных средств с адаптивным приводным двигателем // Вестн. машиностроения. 2010. № 2. С. 16–18.
7. Раков В.А. Повышение энергетической эффективности гибридных двигателей последовательной схемы // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. С. 112–117.
8. Раков В.А. Повышение энергетической эффективности гибридных двигателей с параллельной схемой расположения элементов // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. С. 118–123.
9. Pistoia G. *Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market*. Oxford: The Netherlands Linacre House. Great Britain, 2010. 645 p.
10. Регистрационная карта: инв. № 50201001370. Автоматизированный расчет оптимальных параметров гибридных силовых установок транспортных средств с последовательной и параллельной схемой расположения элементов: программа ГСУ-АВТО. ИКАП / В.А. Раков. № И100616190121; дата регистрации 10.08.10. М.: ВНИИЦ, 2010. 2 с.
11. Теория и конструкция автомобиля / В.А. Иларионов [и др.]. М.: Машиностроение, 1992. 416 с.

12. Раков В.А., Литвинов В.И. Стабилизация нагрузочного режима ДВС трактора путем использования комбинированной энергоустановки // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 1. С. 3–9.
13. Раков В.А., Литвинов В.И. Расчет мощности двигателя гибридной энергетической установки сельскохозяйственной машины // АгроЗооТехника. 2020. Т. 3. № 1. С. 4.
14. Раков В.А., Литвинов В.И. Определение необходимой мощности двигателя комбинированной энергетической установки трактора // Изв. С.-Петерб. гос. аграр. ун-та. 2019. № 3 (56). С. 145–151.
15. Ксиневиц И.П., Ипатов А.А., Изосимов Д.Б. Технология гибридных автомобилей, состояние и пути развития отечественной автомобильной техники с комбинированными энергоустановками // Мобильная техника. 2003.

### **Сведения об авторах**

Вячеслав Александрович Раков – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет». Российская Федерация, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; e-mail: vyacheslav.rakov@mail.ru

Владимир Игоревич Литвинов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина». Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Емельянова, д. 1; e-mail: lit.vinov@mail.ru

## **ENSURING STABLE LOAD MODE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF AN AGRICULTURAL MACHINE THROUGH THE USE OF A COMBINED POWER PLANT**

Rakov V.A., Litvinov V.I.

*One of the ways to improve the performance of an agricultural machine's power plant is to stabilize the load mode of its internal combustion engine. The article considers the calculation methodology of the characteristics of the engine as part of a combined electromechanical power plant (CEP) of an agricultural machine. The proposed methodology allows to determine the possible power of the primary energy source of the CEP – the internal combustion engine and the efficiency of the agricultural machine as a whole. The ways of load mode stabilization using serial and parallel power transmission schemes in a power plant are presented. The authors used the following data as initial, the machine operation cycle with changes in its speed or load mode, the mass of the machine, energy characteristics of transmission, electrical machines, voltage converters, electric energy storage and internal combustion engine. The balance of the machine's energy consumption throughout the entire cycle is estimated during the calculation*

*process. Next, the amount of energy passing from the engine to the working body of the machine is determined for each of the considered chains: mechanical, electrical and storage. The advantage of this method is that it is possible to obtain various combinations of characteristics of the internal combustion engine and other elements of the CEP, i.e. one can set any value of the electric storage capacity and get the necessary power of the internal combustion engine and fuel consumption. This method also allows to determine the most appropriate type of CEP for the specified operating conditions. For example, the article presents the calculation results for a 4.5-ton tractor. Due to the reduction of load surges, the internal combustion engine power for the work performed was reduced from 60 to 11 kW. As a consequence of the load mode stabilization and the elimination of inefficient operating modes, the specific indicators of fuel consumption by the agricultural machine are reduced.*

*Load mode, fuel consumption, combined power plant, transmission, operating mode.*

### **Information about the authors**

Vyacheslav A. Rakov – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vologda State University”. 15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: vyacheslav.rakov@mail.ru

Vladimir I. Litvinov – Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin”. 1, Emel’yanova Street, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: lit.vinov@mail.ru