

СТАБИЛИЗАЦИЯ НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ДВС ТРАКТОРА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

STABILIZATION OF THE LOAD MODE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF THE TRACTOR THROUGH THE USE OF A HYBRID POWER PLANT

В.А. РАКОВ¹, к.т.н.
В.И. ЛИТВИНОВ², к.с.-х.н.

¹ Вологодский государственный университет, Вологда,
Россия, vyacheslav.rakov@mail.ru

² Вологодская государственная молочнохозяйственная
академия им. Н.В. Верещагина, Вологда, Россия,
lit.vinov@mail.ru

V.A. RAKOV¹, PhD in Engineering
V.I. LITVINOV², PhD in Agriculture

¹ Vologda State University, Vologda, Russia,
vyacheslav.rakov@mail.ru

² Vologda State Dairy Farming Academy named after
N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia, lit.vinov@mail.ru

Известно, что основные затраты при эксплуатации сельскохозяйственных машин связаны с горюче-смазочными материалами и запчастями. Попытки улучшить характеристики машины за счет снижения эксплуатационных затрат осуществляются постоянно, это обусловлено повышающимися конкурентными требованиями к конечному продукту. Например, в процессе ежедневной эксплуатации самого распространенного в странах Евразийского экономического союза трактора МТЗ-82 при работе по доставке кормов и для привода кормораздатчика за год эксплуатации расходы только на топливо составят примерно 20 % от его первоначальной стоимости (300 тыс. российских рублей). Помимо этого, для обеспечения работоспособного состояния трактора потребуются запчасти и других расходных материалов еще на сотни тысяч рублей. Дизельный двигатель, используемый в тракторах, значительную часть времени работает на холостом ходу, и, как следствие, является недогруженным. В пиковых нагрузках, наоборот, требуется большая мощность, и, соответственно, приходится создавать достаточный энергетический запас. Это в свою очередь неизбежно приводит к увеличению расхода топлива. Отсюда и возникает потребность в стабилизации нагрузочного режима работы двигателя, снижении его работы в недогруженных режимах и при максимальных нагрузках. Данная задача может решаться разными путями. Один из них – это комбинирование дизельного двигателя и электромеханической трансмиссии. Такие энергетические установки так и принято называть комбинированными или гибридными. Среди нескольких типовых конструктивных схем в сельскохозяйственных машинах наибольшее распространение получили комбинированные энергоустановки параллельного типа (mild hybrid) и последовательного типа (full hybrid). Представленная методика позволит проанализировать предполагаемые схемы комбинированной энергоустановки, оценить возможные потери и произвести расчет необходимой мощности двигателя, а в конечном итоге определить более рациональную схему для заданных условий эксплуатации. Авторами также представлены результаты сравнительного расчета необходимой мощности двигателя внутреннего сгорания комбинированных энергетических установок.

Ключевые слова: нагрузочный режим, расход топлива, комбинированная энергоустановка, режим работы, трактор, трансмиссия.

It is known that the main costs in the operation of agricultural machinery are associated with fuels, lubricants and spare parts. The attempts are made to improve the performance of the machinery by reducing operating costs. This happens due to the increasing competitive requirements of the final product. For example, during daily operation of the MTZ-82 tractor, the most widespread tractor in the Eurasian Economic Union, when delivering feed and driving a feeder for a year of operation, just the fuel costs will amount to approximately 20 % of its initial cost (300 thousand Russian rubles). In addition, to ensure the tractor is in a working condition, it will require spare parts and other consumables for another hundreds of thousands of rubles in Russian currency. The diesel engine used in tractors idles most of the time and, as a result, is underloaded. In peak loads, on the contrary, more power is required and, accordingly, it is necessary to create a sufficient energy reserve. This in turn inevitably leads to increased fuel consumption. Hence, there is a need to stabilize the load mode of the engine, reduce its operation in underloaded modes and at maximum loads. This problem can be solved in various ways. One of them is a combination of a diesel engine and an electromechanical transmission. Such power plants are usually called combined or hybrid. Among several typical structural schemes in agricultural machinery, hybrid power plants of the mild hybrid type and full hybrid type were most widely used. The presented methodology will allow to analyze the proposed schemes of a hybrid power plant, assess possible losses and calculate the required engine power, and ultimately determine a more rational scheme for the given operating conditions. The authors also presented the results of a comparative calculation of the required power of an internal combustion engine of hybrid power plants.

Keywords: load mode, fuel consumption, hybrid power plant, operating mode, tractor, transmission.

Введение

Улучшение эксплуатационных характеристик сельскохозяйственным машин с традиционным дизельным или бензиновым двигателем возможно за счет стабилизации режима работы энергетической установки.

Как известно, минимальный удельный расход топлива двигателя внутреннего сгорания (ДВС) может быть достигнут на нагрузочном режиме, близком к максимальному крутящему моменту двигателя. Однако в реальных условиях скачки нагрузки на рабочем органе приводят к неустойчивому режиму работы и, как следствие, повышению расхода топлива. При этом стабилизировать нагрузку на рабочем органе не всегда удастся, например, при трогании машины с места с грузом, пуске кормораздатчика или заглоблении плуга. Для преодоления пиковых нагрузок машиной во время работы приходится значительно увеличивать запас по мощности ДВС, что приводит к существенной его недогрузке и увеличению потерь холостого хода [1].

Альтернативным путем решения проблемы стабилизации нагрузочного режима ДВС машины является использование маховичного накопителя энергии, а также комбинированной энергетической установки. Но создание маховичного накопителя с вакуумной камерой и магнитными подшипниками для трактора – задача достаточно не дешевая, при этом требуется использовать систему передачи мощности от ДВС на вал маховика, от маховика на рабочий орган. Более простым является использование комбинированных энергетических установок (КЭУ) с электро-механической трансмиссией и электрическим накопителем энергии [2]. Такие машины известны давно, и также известны для сельского хозяйства.

Среди таких машин следует отметить трактор «Беларус-3023», который имеет электро-механическую передачу с последовательной схемой передачи энергии, позволяющую передавать механическую энергию от дизельного двигателя без ступенчатой передачи.

Трактор ДЭТ-400, тягового класса – 25. Тяговый привод КЭУ также передает крутящий момент на ведущие колеса путем последовательной передачи через генератор переменного тока мощностью 225кВт и два тяговых электродвигателя мощностью по 110 кВт. Скорее всего, о серьезной экономии топлива в данном

случае речи также не идет, основное его преимущество – более простое управление крутящим моментом.

Трактор с КЭУ на базе ВТЗ-2048А, разработанный Московским государственным агроинженерным институтом, имеет схему параллельного типа с буферным накопителем электрической энергии с сверхвысокомощным конденсатором.

Для лесозаготовительных работ компанией Volvo разработан форвардер EL-forest F14, который также имеет КЭУ с последовательной схемой.

Шведская государственная лесохозяйственная компания Sveaskog серийно выпускает самозагружающийся трактор для трелевки лесоматериалов EL-Forest F14. Форвардер имеет небольшой дизельный двигатель, приводящий в действие генератор, который, в свою очередь, через аккумуляторные батареи питает электромоторы, размещенные в шести колесах трактора.

Полностью электрический трактор – модели e100 Vario. Компактный электротрактор обладает мощностью 68 л.с. (50 кВт) и может до 5 часов работать без подзарядки. Дополнительный запас энергии генерируется за счет рекуперативного торможения. В качестве накопителей энергии используется 650-вольтовая литий-ионная аккумуляторная батарея емкостью 100 кВт·ч, которую можно заряжать до 80 % в течение 40 минут. От обычной сети время заряда будет значительно больше.

Трактор с КЭУ по сравнению с традиционной универсальной сельскохозяйственной машиной обладает следующими важными преимуществами:

- увеличенный крутящий момент на ведущих колесах при трогании с места и выходе на рабочий режим;
- упрощение сложной многоступенчатой трансмиссии и, как следствие, нагрузки на оператора, управляющего ей;
- возможность оптимизации и стабилизации нагрузочных режимов энергетической установки по минимальному расходу топлива;
- понижение значений требуемой мощности ДВС.

Существует некоторый стереотип о том, что трактор с КЭУ будет гораздо экономичнее. Однако, в большей степени, это не так. Дело в том, что энергия в КЭУ передается к двигателю по более длинному пути, включающему

электрогенератор, устройство управления, накопитель энергии, электродвигатель. По этой причине КЭУ все же ущербна по отношению к энергоустановке, состоящей из ДВС с традиционной трансмиссией. К тому же стоимость КЭУ значительно выше из-за сложности конструкции, которая включает дополнительные компоненты: электродвигатель, силовой инвертор, генератор и накопитель энергии. К этому выводу приходят также и другие исследователи [3].

Но, несмотря на существенные недостатки, эффективное применение КЭУ в сельхозмашине возможно. Эффективность КЭУ, прежде всего, зависит от конструктивной схемы передачи энергии на рабочий орган машины (схемы КЭУ). В зависимости от режима эксплуатации может быть применена одна из трех схем передачи энергии на рабочий орган: последовательная, параллельная и смешанная.

При выборе типа применяемой схемы энергетической установки целесообразно учитывать следующие факторы: начальная стоимость применяемых компонентов тягового привода, компоновка и надежность. Также не маловажным является и выбор рациональных параметров основных компонентов.

Более рациональный тип схемы привода для стабилизации нагрузочного режима автор предлагает осуществить за счет сопоставления энергетических расчетов, в которых учитываются потери при передаче энергии в приводе.

Цель исследований

Оценка возможности стабилизации нагрузочного режима ДВС для оптимизации его характеристик и уменьшения расхода топлива. Определение оптимальной мощности ДВС трактора МТЗ с КЭУ на примере стандартного рабочего цикла.

Материалы и методы

Исходными данными для расчета является характеристика цикла нагружения машины в процессе работы. Ее можно получить экспериментальным путем, записав изменение параметров при движении по заданному маршруту или задать любую теоретическую модель. В данном случае для примера будет использован теоретический ездовой цикл [4].

Для определения оптимальной мощности ДВС, работающего в комбинации с электрическим приводом, необходимы характеристики

машины (массу, коэффициент качения), условия нагружения при движении и характеристики самих элементов привода (трансмиссии, электромотора, накопителя энергии, силового преобразователя, генератора).

С помощью известных формул тягового расчета найдены составляющие мощностного баланса, характеризующие условия движения трактора в каждой i -й точке: N_{Ki} – мощность на преодоление сил сопротивления качению; $N_{ДАi}$ – мощность привода дополнительных агрегатов; $N_{Иi}$ – мощность на преодоление сил инерции; $N_{Пi}$ – мощность на преодоление сил сопротивления подъему [5–6].

Суммарная мощность, затрачиваемая на движение транспортного средства в каждой измеренной точке, равна:

$$N_{Ci} = N_{Ki} + N_{ДАi} + N_{Иi} + N_{Пi}, \text{ [кВт]}. \quad (1)$$

В качестве примера приведена методика расчета параллельной схемы КЭУ. Как и в традиционной энергетической установке, здесь использована механическая передача энергии через ступенчатую трансмиссию [7]. Электродвигатель только один, он установлен параллельно механической передаче (между ДВС и трансмиссией) и задействуется только при разгонах и переходных режимах на другой рабочий режим нагрузки. Избыточная энергия двигателя при движении расходуется генератором для заряда накопителя. Таким образом, данная схема может использоваться для частичного сглаживания пиков нагрузки ДВС, в условиях трогания с места и подключения мощных рабочих органов, таких как кормораздатчик. Исходя из вышесказанного, можно сделать утверждение, что вся вырабатываемая ДВС энергия будет израсходована на движение и потери в приводе.

Электрическая машина в параллельной схеме является обратимой, т.е. может работать поочередно и в режиме генератора, и в режиме электродвигателя; как следствие, заряд накопителя возможен только при средних и малых нагрузках, а также в режиме торможения двигателем. Недостатком параллельной схемы является наличие неоптимальных режимов, таких как холостой ход.

Согласно особенностям параллельной схемы при расчете необходимо вычисление средней потребной мощности N_{CP} КЭУ во время работы, но только в тех промежутках времени, где задействован ДВС ($N_{ВЫХ} > 0$).

Мощность ДВС с учетом потерь при передаче энергии будет складываться из мощности, передаваемой по прямой ветви с учетом потерь в механической передаче, и мощности, передаваемой через электродвигатель М(Г) (параллельная цепь). Также необходимо учесть потери в цепочке привода при передаче энергии от ДВС к накопителю ТНЭ: потери в преобразователе Пр. и в самом накопителе ТНЭ, и потери при передаче энергии к колесам трактора К через трансмиссию ТР (рис. 1, а).

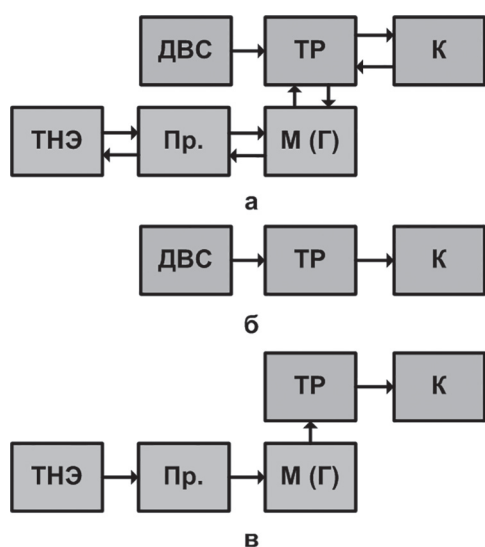


Рис. 1. Блок-схема потерь в параллельной схеме КЭУ: а) общая цепочка потерь; б) в механической передаче; в) в электрической передаче

Средняя мощность тяги на всем участке движения – N_{CP} – показывает среднюю величину значений мощности тяги на всем расчетном участке и фактически является средней мощностью привода КЭУ:

$$N_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n}, \text{ [кВт]}, \text{ при } \sum N_i > 0. \quad (2)$$

ДВС в параллельной схеме не регулирует скорость движения, а работает в оптимальном для себя стационарном режиме, постоянно отдавая всю вырабатываемую мощность на заряд тягового накопителя энергии (ТНЭ) и движение. При отсутствии нагрузки на колесах и полном заряде батареи мощность не может быть реализована, в этом случае ДВС отключается. Исходя из этого, можно сделать утверждение, что вся вырабатываемая ДВС мощность будет потрачена на движение и потери в приводе [8].

В общем виде средняя мощность с учетом потерь в приводе и с учетом коэффициента использования двигателя по мощности (К) и будет являться той необходимой искомой мощностью двигателя ($N_{ДВС}$), которая равна:

$$N_{ДВС} = \frac{N_{CP}}{K}, \text{ [кВт]}. \quad (3)$$

Коэффициент эффективного режима работы ДВС (К) на данном участке определяется экспериментальным путем [2].

Для определения КПД привода и потерь при передаче энергии необходимо проанализировать цепочки передачи энергии от ДВС на ведущие колеса.

Известно, что часть энергии будет передана от ДВС на колеса по прямой цепочке (рис. 1, б), а часть – через накопитель энергии (рис. 1, в). В обоих случаях потери будут различны. Исходя из этого каждая цепочка потерь рассмотрена отдельно.

Средняя мощность привода на участке, переданная на рабочий орган трактора N_K , будет равна всей средней мощности $N_{CP,ПР}$ за вычетом той, которая передается через тяговый накопитель энергии ($N_{НЭ,CP}$). При этом $N_{CP,ПР}$ в данном случае будет являться той частью мощности, которая передается через механическую передачу:

$$N_{CP} = N_{CP,ПР} - N_{НЭ,CP}, \text{ [кВт]}. \quad (4)$$

Прямая мощность с учетом потерь в цепочке привода вычисляется по формуле (5).

$$N_1 = \frac{N_{CP,ПР}}{\eta_{ТР}}, \text{ [кВт]}, \quad (5)$$

где $\eta_{ТР}$ – КПД механической части трансмиссии.

Через накопитель энергии будет проходить та часть энергии, которая выходит за пределы средней $N_{CP,ПР}$.

Среднее значение между кривой текущей мощности на рабочем органе N_K и N_{CP} будет являться средней мощностью, проходящей через тяговый накопитель энергии $N_{НЭ,CP}$ на испытываемом участке:

$$N_{НЭ,CP} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{Ki} - N_{CP})}{n}, \text{ [кВт]},$$

(если $N_i - N_{CP} > 0$), (6)

где n – общее количество точек на испытываемом участке.

С учетом потерь в накопителе энергии:

$$N_2 = \frac{N_{НЭ,ср}}{\eta_{НЭ}}, \text{ [кВт]}. \quad (7)$$

Суммарная, или необходимая, мощность ДВС складывается из мощности, переданной по прямой цепочке, и мощности, проходящей через накопитель энергии с коэффициента К запаса мощности ДВС:

$$N_{ДВС} = \frac{N_1 + N_2}{K}, \text{ [кВт]}. \quad (8)$$

В рассчитываемом значении $N_{ДВС}$ учитываются оптимальный по экономичности нагрузочный режим ДВС ($K = 0,75$) и потери при передаче энергии в цепочке привода.

Результаты и обсуждение

Из расчета установлено, что для трактора массой 4,5 т при вспахивании почвы с номинальным тяговым усилием 1150 кгс, необходимая мощность ДВС комбинированной энергетической установки должна составлять 51,6 кВт, характеристики ТНЭ должны обеспечивать запас энергии 13 кДж, номинальная

мощность электродвигателя составит 30,5 кВт. Как следует из расчета, даже с учетом коэффициента запаса мощность ДВС в составе КЭУ может быть ниже на 16 %, а его расход топлива при той же удельной экономичности двигателя будет меньше на 13 %.

На рис. 2 представлен возможный вариант компоновки трактора при использовании параллельной схемы. В качестве возможного пути определения оптимальных параметров КЭУ и характеристик ее компонентов предлагается использование тягово-мощностного расчета при движении по заданному циклу движения и алгоритма, изложенного в ранее проведенных исследованиях.

В последовательной схеме соединения элементов ДВС нагружен только генератором, энергия от которого передается на тяговый электродвигатель. Стабилизация нагрузочного режима здесь будет осуществляться за счет наличия ТНЭ, который будет сглаживать скачки нагрузки. Блок-схема общей цепочки потерь в последовательном приводе представлена на рис. 3, а. В данном случае поток энергии будет проходить от ДВС на рабочий орган

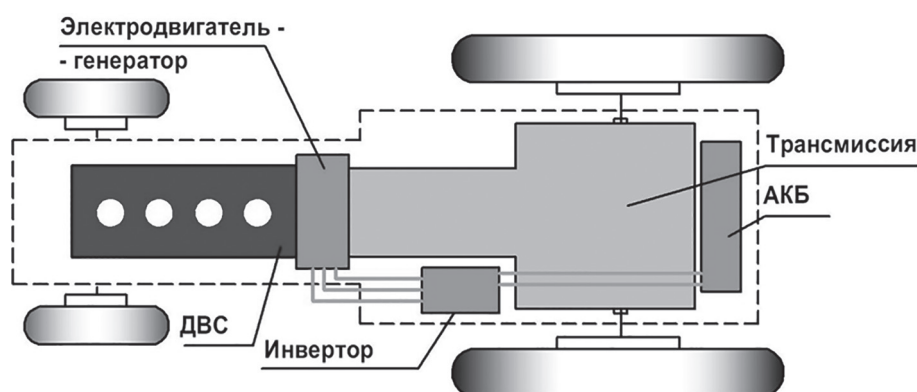


Рис. 2. Схема КЭУ трактора параллельного типа

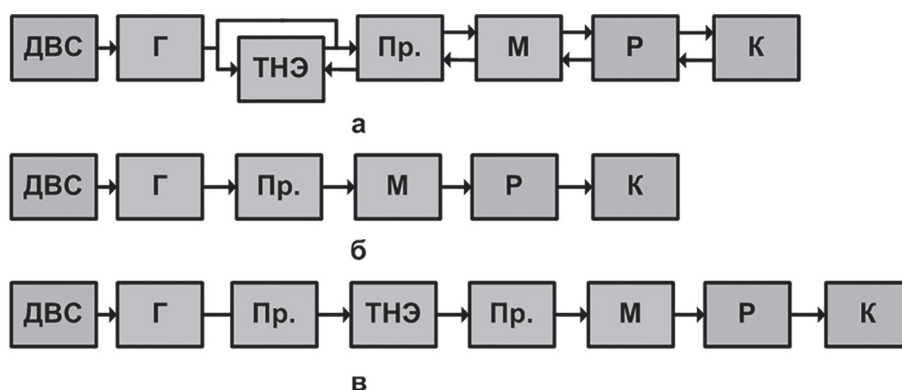


Рис. 3. Блок-схемы потерь в последовательной схеме привода: а) общая цепочка потерь; б) при прямой передаче энергии; в) при передаче энергии через тяговый накопитель

двумя путями: через электрическую передачу, минуя накопитель энергии (рис. 3, б), и через электрическую передачу, проходя через накопитель энергии (рис. 3, в). Если вырабатываемая ДВС энергия не может быть реализована, то он может быть отключен на некоторое время [7].

Средняя мощность КЭУ последовательной схемы определяется также, как и для параллельной с учетом особенностей схемы передачи энергии.

Результаты расчета КЭУ последовательной схемы показывают отсутствие преимущества ее перед традиционной схемой с ДВС и механической трансмиссией ввиду высоких потерь при двойном преобразовании энергии в генераторе и электродвигателе. Общий КПД такой схемы не превышает 0,75 %, в то время как механическая передача может обеспечить КПД более 90 %.

На рис. 4. представлена возможная схема КЭУ трактора с последовательным соединением элементов.

Расчеты показывают возможное преимущество комбинированных энергетических установок параллельного типа в сельскохозяйственной технике при рациональном подборе характеристик элементов привода. При этом целесообразность стабилизации нагрузочного режима будет зависеть от величины колебаний мощности на рабочем органе машины. Чем больше фактическая мощность на рабочем органе N_f отличается от $N_{ср}$, тем более выгодным будет применение электромеханической трансмиссии с накопителем энергии.

Для машин, работающих преимущественно в квазистационарных режимах работы, КЭУ не будут иметь преимущество в расходе топлива. Однако благодаря применению электрического привода возможен переход на электрическую тягу в некоторых видах работ, где

работа на нефтяном топливе будет вредна или менее эффективна, чем электричество. Например, в закрытых животноводческих ангарах; для привода прицепных кормораздатчиков, машин для перемалывания корма и т.д.

Заключение

При высокой стоимости элементов КЭУ, а также с учетом незначительных колебаний нагрузки в сельскохозяйственной машине целесообразно сохранить имеющиеся двигатель внутреннего сгорания и трансмиссию, используя при этом электродвигатель-генератор, работающий в параллельном режиме. Параллельная схема частично компенсирует пики нагрузки, при этом стабилизируется нагрузочный режим работы энергетического агрегата.

Развитие технологий по производству комплектующих позволит снизить затраты на создание эффективной техники, и в ближайшем будущем тракторы с комбинированной энергетической установкой могут получить широкое применение в сельском и коммунальном хозяйствах. На начальном этапе создания трактора с КЭУ представляет интерес минимизация его стоимости, что возможно достичь благодаря применению представленной методики.

Литература

1. Александров И.К., Белков А.Л., Раков В.А. Оценка энергетической эффективности ДВС в условиях неустановившегося режима работы // Вестник 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. Lee H.-S., Kim J.-S., Park Y.-I., Cha S.-W. Rule-based power distribution in the power train of a

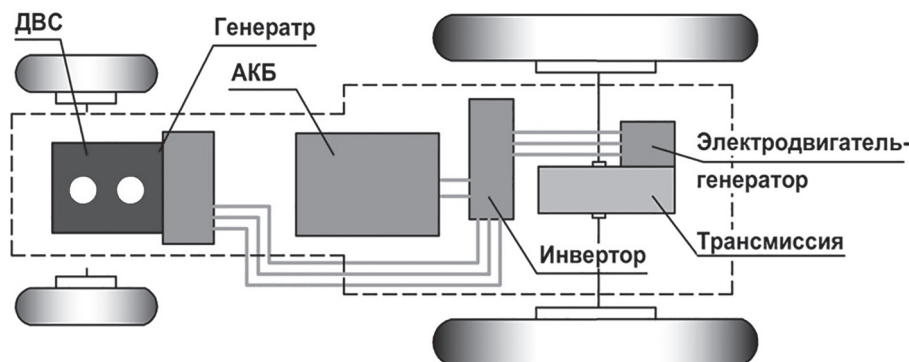


Рис. 4. Схема КЭУ трактора последовательного типа

parallel hybrid tractor for fuel savings (2016) International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology, 3 (3), pp. 231–237. DOI: 10.1007/s40684-016-0030-6.

4. Капустин А.А., Раков В.А. Оптимизация параметров энергетической установки гибридного трактора // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГУ. 2017. С. 108–111.
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 // Вестник машиностроения. 2010. № 2. С. 16–18.
7. Раков В.А. Расчет мощности ДВС гибридной силовой установки параллельного типа // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГУ. 2016. С. 129–134.
8. Раков В.А. Повышение энергетической эффективности гибридных двигателей последовательной схемы // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования: материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж: ВГЛТА. 2014. С. 112–117.

References

1. Aleksandrov I.K., Belkov A.L., Rakov V.A. Assessment of the energy efficiency of ICE in an unsteady mode. Vestnik mashinostroeniya. 2008. No 6, pp. 17–20 (in Russ.).
2. Aleksandrov I.K., Nesgovorov E.V., Rakov V.A. Adaptive transmissions – a way to create efficient engine units and vehicles. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2011. No 1, pp. 25–27 (in Russ.).
3. Lee H.-S., Kim J.-S., Park Y.-I., Cha S.-W. Rule-based power distribution in the power train of a

parallel hybrid tractor for fuel savings (2016) International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology, 3 (3) pp. 231–237. DOI: 10.1007/s40684-016-0030-6

4. Kapustin A.A., Rakov V.A. Optimization of parameters of a hybrid tractor power plant. Avtomatizaciya i energos-berezhnie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Automation and energy saving of machine-building and metallurgical industries, technology and reliability of machinery, instruments and equipment: materials of the International Scientific and Technical Conference]. Vologda: VoGU Publ. 2017, pp. 108–111.
5. Rakov V.A., Aleksandrov I.K. Determining the power consumed by a vehicle during transient operating modes. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2013. No 5, pp. 9–11 (in Russ.).
6. Aleksandrov I.K., Nesgovorov E.V., Rakov V.A. Traction calculation of vehicles with adaptive drive engine. Vestnik mashinostroeniya. 2010. No 2, pp. 16–18 (in Russ.).
7. Rakov V.A. Calculation of the power of the internal combustion engine of a hybrid power plant of a parallel type. Avtomatizaciya i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Automation and energy saving of machine-building and metallurgical industries, technology and reliability of machinery, instruments and equipment: materials of the International Scientific and Technical Conference]. Vologda: VoGU Publ. 2016, pp. 129–134 (in Russ.).
8. Rakov V.A. Improving the energy efficiency of serial hybrid engines. Al'ternativnye istochniki energii na avtomobil'nom transporte: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Alternative sources of energy in automobile transport: problems and prospects of rational use: materials of the International scientific-practical conference]. Voronezh: VGLTA Publ. 2014, pp. 112–117 (in Russ.).