

УДК 629.11.02/.098

МРНТИ 73.31.01

DOI 10.56525/КРАМ8263

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ В СОВРЕМЕННОМ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

<sup>1</sup>А. А. Юсупов., <sup>2</sup>Ж. А. Тургаев<sup>1</sup> Университет Есенова, Актау, Казахстан<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет им. Бердаха, Нукус, Узбекистан  
e-mail: askerbek\_usa@mail.ru

**Аннотация.** Использование гибридных силовых установок в транспортных средствах, эксплуатируемых в городских условиях, обусловлено их высокими экологическими характеристиками и низкими затратами энергии по сравнению с традиционными двигателями внутреннего сгорания. Экологические показатели достигаются за счет сокращения выбросов выхлопных газов за счет использования преобразованной и накопленной электроэнергии. Экономичные характеристики достигаются за счет рекуперации кинетической энергии, что повышает топливную экономичность. В статье обсуждаются и анализируются вопросы разработки и проектирования автомобилей с гибридным приводом. Проанализированы принципы построения гибридных трансмиссий из параллельных и последовательных цепей и установлено, что существующие системы гибридных трансмиссий не выдерживают серьезной конкуренции с традиционными трансмиссиями. Определены предпосылки для применения гибридных схем трансмиссии, которые демонстрируют преимущества этих схем и позволяют улучшить и эффективно использовать экологические характеристики двигателя внутреннего сгорания. Возможность использования газотурбинного двигателя в качестве теплового двигателя без тяжелой и громоздкой трансмиссии позволяет повысить КПД, мощность и уменьшить массу и габариты привода транспортного средства.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка; электродвигатель; двигатель внутреннего сгорания; тяговый аккумулятор; рекуперация; топливная экономичность; параллельное соединение, последовательное соединение, гибридная трансмиссионная схема.

### Введение

Актуальной проблемой современного автопрома является создание агрегатов с минимальными выбросами вредных продуктов сгорания. В этой области исследований разработка комбинированных (гибридных) электромеханических силовых агрегатов является инновационной и перспективной областью. Разработка гибридных силовых установок имеет ряд объективных причин [1]. Современные автомобили потребляют в среднем 30-50% номинальной мощности двигателя, установленного в автомобиле. При торможении теряется от 15 до 60% кинетической энергии, передаваемой от двигателя к автомобилю. Если бы мы накапливали эту энергию, а затем использовали ее в перегруженных режимах движения, мы могли бы сэкономить 30% топлива. Увеличение расхода топлива и увеличение выбросов загрязняющих веществ из выхлопных газов во многом обусловлено работой двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в неэффективных режимах. Остро стоит проблема обеспечения постоянной работы двигателей в режиме минимального расхода топлива и выброса вредных веществ.

Эту проблему можно успешно решить с помощью гибридных электромеханических силовых установок, которые представляют собой симбиоз теплового и электрического двигателя и, по мнению экспертов, снижают вредные выбросы в атмосферу на 90% и более.

### Материалы и методы.

В настоящее время существует два принципа построения гибридных силовых агрегатов ("гибридов") - параллельный и последовательный.

В параллельной схеме (рис. 1) механическая энергия подается на колеса как от двигателя внутреннего сгорания, так и от электродвигателя. При этом необходимость в обычной трансмиссии сохраняется, и двигателю приходится работать в неэкономичных режимах разгона. Несмотря на простоту реализации этой схемы, она существенно не улучшает параметры окружающей среды и КПД двигателя внутреннего сгорания. Незначительное улучшение этих параметров с увеличением мощности электродвигателя-генератора приводит к значительному увеличению емкости аккумулятора и, как следствие, массы силового агрегата, что не снижает мощность двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, стоимость такого автомобиля намного выше, чем стоимость обычного автомобиля с улучшенным каталитическим нейтрализатором.

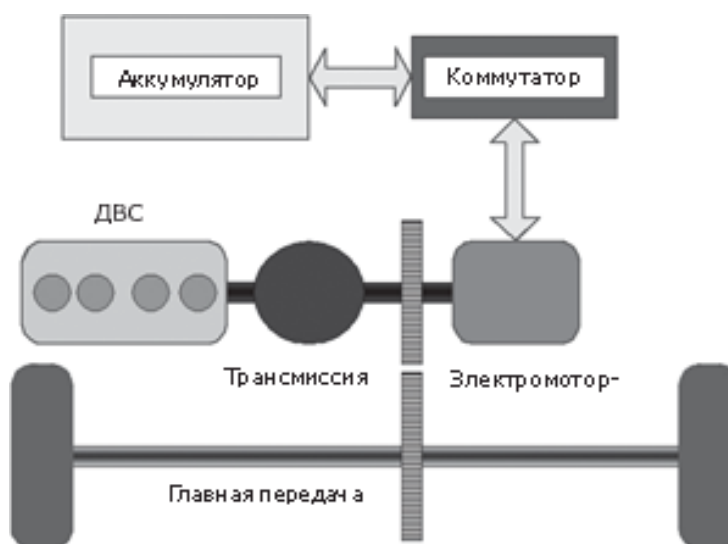
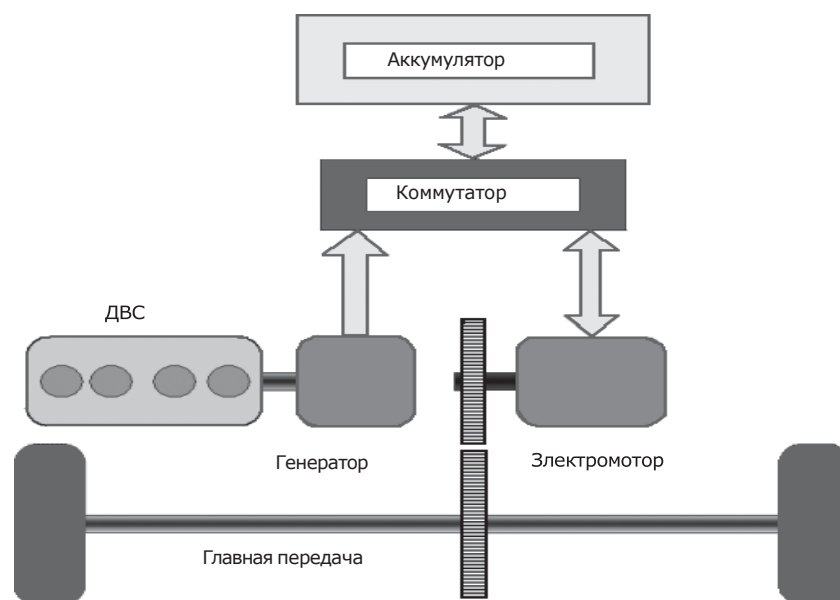


Рисунок 1 - Параллельная гибридная схема

В последовательной схеме (рис. 2) двигатель внутреннего сгорания вращает генератор, работающий в стационарном режиме, а колеса механически соединены только с электродвигателем.

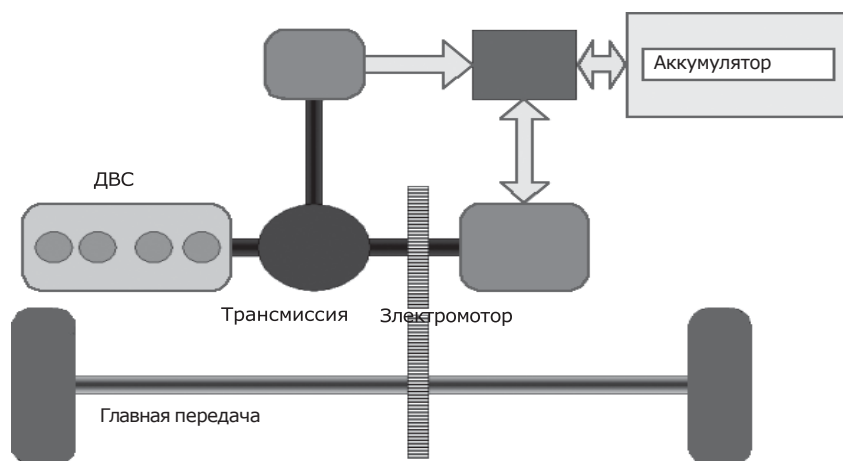
Преимуществами этой схемы являются хорошие параметры окружающей среды, малая мощность двигателя внутреннего сгорания и высокая эффективность его использования. Недостатки: большая емкость аккумулятора и мощность электродвигателя, сложность реализации. Это приводит к значительному увеличению стоимости и веса автомобиля [2].

Чтобы уменьшить недостатки обеих схем, используется смешанная схема (рис. 3). По этой схеме Toyota создала пятиместный седан Prius. Prius оснащен 1,5-литровым бензиновым двигателем мощностью 52 кВт и электродвигателем с постоянными магнитами мощностью 33 кВт. Никель-металлогидридная батарея с максимальной мощностью 25 кВт и напряжением 274 В состоит из 38 модулей, каждый из которых содержит по 6 батарей.



**Рисунок 2 - Последовательная гибридная схема**

Автомобиль может приводиться в движение либо двигателем внутреннего сгорания, либо электродвигателем, либо и тем, и другим одновременно. Электронный блок выбирает в зависимости от скорости и нагрузки на трансмиссию автомобиля. Планетарный редуктор используется для распределения мощности двигателя внутреннего сгорания между передней осью и генератором. Автомобиль оснащен рекуперативной тормозной системой.



**Рисунок 3 - Схема смешанного гибрида**

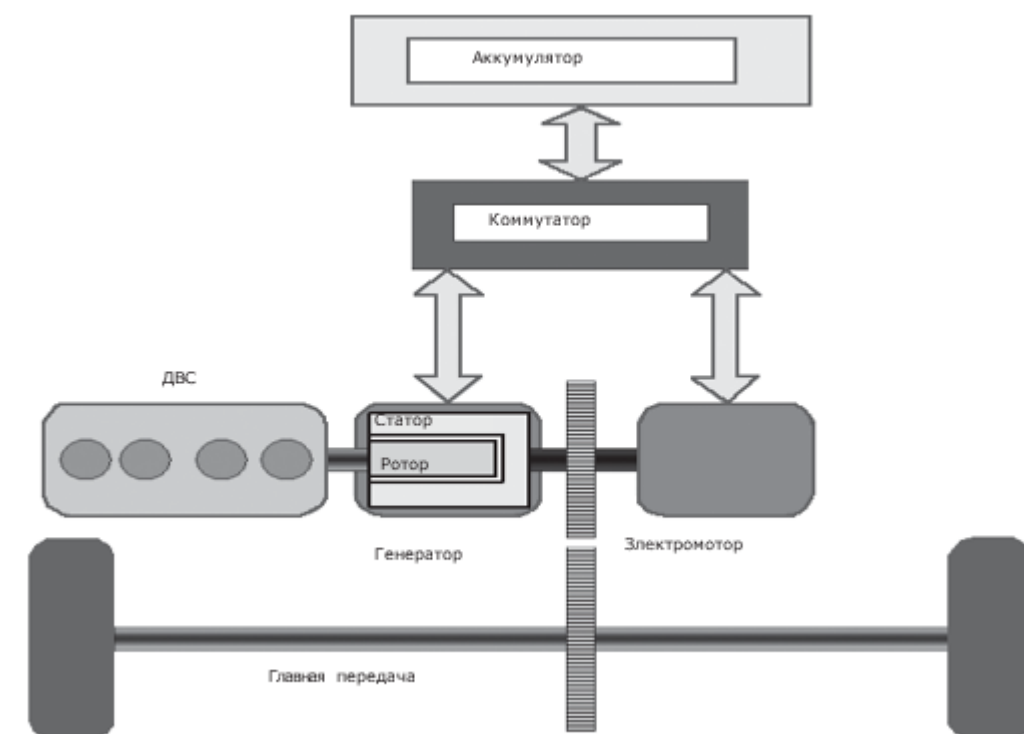
Однако это техническое решение лишь усредняет преимущества и недостатки обеих схем. Из-за трансмиссии двигатель вынужден работать в неэкономичных режимах разгона. Большая масса силовой установки, составляющая почти полторы тонны, снижает топливную экономичность, а малая мощность снижает максимальную скорость и динамику по сравнению с обычными 1,5-литровыми автомобилями.

#### **Результаты исследования**

Таким образом, существующие системы гибридных трансмиссий серьезно не конкурируют с обычными трансмиссиями. Поэтому возникла необходимость в разработке новой схемы гибридной силовой установки с преимуществами параллельных и последовательных цепей.

Эта задача оказалась простым и эффективным решением.

Предложенная схема (рис. 4), назовем ее схемой редуктора, очень похожа на последовательную: двигатель внутреннего сгорания участвует только во вращении электрогенератора, работающего в стационарном режиме, но генератор закреплен в корпусе устройства, с возможностью вращения статора и ротора. В этом случае двигатель внутреннего сгорания механически соединен с ротором генератора, а колеса - со статором. Это возможно благодаря тому, что частота вращения ротора равна частоте вращения двигателя 3000-5000 об/мин, а частота вращения статора равна частоте вращения ведущих колес 0-300 об/мин. Это связано с тем, что скорость вращения ротора равна частоте вращения двигателя 3000-5000 об/мин, а скорость вращения статора равна частоте вращения ведущих колес 0-300 об/мин. Следовательно, частота вращения ротора генератора относительно статора колеблется от 2700 до 5000 об/мин. Это позволяет передавать часть механической энергии двигателя внутреннего сгорания на колеса, как в параллельной схеме, но для этого не требуется механическая трансмиссия. Количество механической энергии, передаваемой двигателем внутреннего сгорания на колеса, зависит от режима работы генератора и равно количеству механической энергии, получаемой при нормальной работе.



**Рисунок. 4.** Перспективная гибридная схема (трансмиссия)

Энергия двигателя внутреннего сгорания преобразуется генератором в электрическую энергию, т.е. изменяя нагрузку на генератор, можно изменять как количество механической энергии двигателя внутреннего сгорания, преобразуемой генератором в электрическую

энергию, так и количество механической энергии, передаваемой непосредственно от двигателя внутреннего сгорания на колеса.

#### **Возможности устройства:**

- по сравнению с параллельным гибридом эффективность использования и экологичность двигателя внутреннего сгорания улучшены, поскольку двигатель внутреннего сгорания работает в экологичном режиме с фиксированными скоростями, близкими к максимальным.;

- конструкция упрощена за счет новой схемы подключения двигателя внутреннего сгорания, автомобиля и колес;

- по сравнению с серийным гибридом емкость аккумулятора, мощность электродвигателя и их вес были уменьшены.

Трансмиссия работает следующим образом. В режиме пуска и низкой скорости двигатель внутреннего сгорания не работает, а электродвигатель вращает колеса, питаясь от аккумулятора. При средней скорости двигатель внутреннего сгорания работает в экологичном режиме с фиксированной частотой вращения. В этом случае электрическая энергия от генератора подается на электродвигатель и аккумулятор. Часть механической энергии двигателя внутреннего сгорания передается колесам, когда статор ротора генератора тормозится в результате взаимодействия их магнитных силовых полей [3,4].

В режиме ускорения или высокой скорости двигатель внутреннего сгорания работает в экологически безопасном режиме с фиксированной скоростью. Генератор работает в режиме генератора или электрического торможения в зависимости от нагрузки. В этом случае электрическая энергия аккумулятора подается на электродвигатель. В режиме ускорения или высокой скорости двигатель внутреннего сгорания работает в экологически безопасном режиме с фиксированной скоростью. Генератор работает в режиме генератора или электрического торможения в зависимости от нагрузки. В этом случае электрическая энергия от аккумулятора подается на электродвигатель. Часть механической энергии двигателя внутреннего сгорания передается колесам при торможении через статор ротора генератора в результате взаимодействия их магнитных силовых полей. Часть механической энергии двигателя внутреннего сгорания передается колесам при торможении через статор ротора генератора в результате взаимодействия их магнитных силовых полей. Двигатель внутреннего сгорания работает в ускоренном или высокоскоростном режиме.

#### **Обсуждение.**

Таким образом, предлагаемая схема силового агрегата со всеми преимуществами серийной схемы меньше веса и габаритов, так как мощность гибрида в режиме максимальной нагрузки равна суммарной мощности его генератора и электродвигателя. Следует отметить, что стандартный маховик двигателя внутреннего сгорания и ротор генератора в этой цепи также выполняют функцию инерционного механизма, снижающего емкость аккумулятора и компенсирующего работу двигателя внутреннего сгорания.

Слабым местом этой схемы является недостаточная эффективность двигателя внутреннего сгорания при управлении транспортным средством в городских условиях с частыми и длительными остановками. Для решения этой проблемы в гибридной конструкции предлагается использовать дополнительный инерционный привод (маховик), механически соединенный с двигателем внутреннего сгорания. Это повышает эффективность двигателя внутреннего сгорания и снижает емкость и, следовательно, вес аккумулятора.

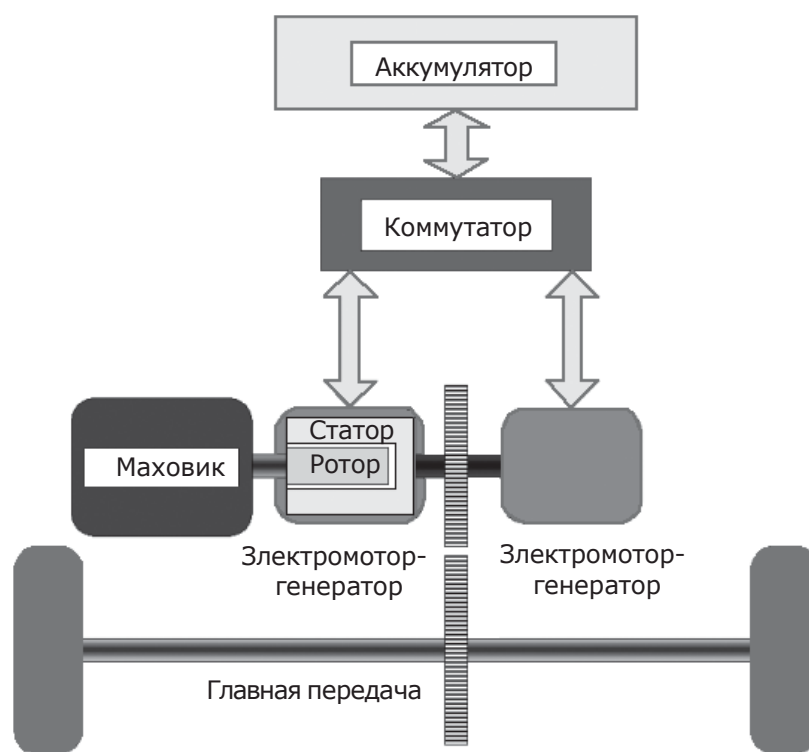
Если такая конструкция используется для транспортных средств с малым пробегом, можно отказаться от использования двигателя внутреннего сгорания, но вместо генератора необходимо использовать электродвигатель. В результате получается электростанция (рис. 5) отсутствие вредного излучения.

Такой агрегат работает следующим образом.

При малых и средних нагрузках двигатель главного генератора работает в режиме генератора. В этом случае электрическая энергия подается в аккумулятор, а механическая энергия маховика передается на колеса.

В режиме движения на средней скорости двигатель главного генератора работает в режиме электромагнитного торможения. Часть механической энергии маховика передается на колеса, когда Ротор-статор электродвигателя-генератора замедляется из-за взаимодействия его магнитных силовых полей. В режиме разгона или движения на высокой скорости к работе подключается дополнительный двигатель генератора, который обеспечивает дополнительную мощность.

Когда аккумулятор полностью заряжен, двигатель главного генератора работает в режиме остановки в режиме двигателя, причем направление вращения ротора противоположно направлению вращения маховика. Электроэнергия обеспечивается батареей. В этом случае механическая энергия накапливается в маховике.



**Рисунок 5** - Гибрид без двигателя внутреннего сгорания

Когда батарея разряжена, двигатель главного генератора работает в режиме генератора, и электричество поступает в батарею. В этом режиме тормозная система автомобиля должна блокировать колеса. В процессе, электрическая энергия накапливается в батарее. В обратном режиме двигатель дополнительного генератора работает в режиме двигателя с противоположным направлением вращения [5].

В обычном режиме торможения дополнительный двигатель генератора работает в режиме генератора. В этом процессе происходит восстановление энергии. Вырабатываемая электроэнергия поступает на батарею. В качестве волана лучше всего использовать Супермаховик, сделанный намоткой волокон или лент на упругий центр. Удельная механическая энергия накопления такого маховика на порядок больше, чем у лучших

монолитных Маховиков, кроме того, он обладает свойством надежного пробоя, не вызывающего осколков. Такая трансмиссия может конкурировать не только с обычными силовыми установками, но и с электрическими автомобилями.

### **Выводы**

Таким образом, схема передачи привода, имеющая все преимущества последовательной схемы, имеет меньший вес и габариты, поскольку мощность гибрида в режиме максимальной нагрузки соответствует общей мощности его генератора и электродвигателя. Стандартный маховик двигателя внутреннего сгорания и ротор генератора, который действует как инерционный механический аккумулятор, уменьшают емкость аккумулятора и уравнивают работу двигателя внутреннего сгорания. Предлагаемое техническое решение включает в себя более 20 конструкций гибридных электростанций, которые, объединяя различные типы двигателей (двигатель внутреннего сгорания, газотурбинный двигатель и т. д.), источники энергии (топливный элемент, стационарный источник и источник, соединенный мобильным контактом), электрические (аккумулятор и конденсатор) и механическое накопление энергии (маховик и т. д.), один или несколько электромобилей, это позволяет повысить эффективность установки, мощность и вес и размер трансмиссии автомобиля.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ерохов, В.И. Оценка экологической безопасности современных автотранспортных средств / В.И. Ерохов // Транспорт на альтернативных топливах. – 2009. – № 1. – С. 66–70.
2. Шабанов А. В. Энергосберегающие технологии и энергоэффективность автотранспортных энергоустановок / А. В. Шабанов, В. К. Ванин, А. Е. Есаков // Известия МГТУ МАМИ. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С. 83–91
3. Внуков С. А. Схемы силовой установки гибридных автобусов /С. А. Внуков // Научный прогресс: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, 2019). – Кемерово:Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр», 2019. – С. 179–180.
4. Corbelli P. Hybrid e-CVT power split drivelines, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Ingegneria elettrotecnica, 23 Ciclo. DOI 10.6092/unibo/amsdottorato/3271. (2011).
5. Петров А.П. Конструкция и проектирование гибридных автомобилей: учебное пособие /А. П. Петров. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2024. – 168 с.

### **ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ АВТОМОБИЛЬ ЖАСАУДАҒЫ ГИБРИДТІ ҚУАТ АГРЕГАТТАРЫ ҚҰРУ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ**

<sup>1</sup>А. А. Юсупов., <sup>2</sup>Ж. А. Тургаев

<sup>1</sup>Есенов университеті, Қазақстан, Ақтау

<sup>2</sup>Бердах атындағы Қарақалпақ Мемлекеттік университеті, Нүкіс, Өзбекстан  
e-mail: askerbek\_usa@mail.ru

**Аннотация.** Қалалық жағдайда пайдаланылатын көлік құралдарында гибриді электр станцияларын пайдалану олардың жоғары экологиялық сипаттамаларына және дәстүрлі ішкі жану қозғалтқыштарымен салыстырғанда энергия шығындарының төмендігіне байланысты. Экологиялық көрсеткіштерге түрлендірілген және жинақталған электр энергиясын пайдалану

арқылы пайдаланылған газдар шығарындыларын азайту арқылы қол жеткізіледі. Үнемді өнімділікке кинетикалық энергияны қалпына келтіру арқылы қол жеткізіледі, бұл отын тиімділігін арттырады. Мақалада гибридті жетекті автомобильдерді жобалау және жобалау мәселелері талқыланады және талданады. Параллель және сериялық тізбектерден гибридті берілістерді құру принциптері талданды және қолданыстағы гибридті беріліс жүйелері дәстүрлі берілістермен айтарлықтай бәсекелестікке төтеп бере алмайтындығы анықталды. Осы тізбектердің артықшылықтарын көрсететін және ішкі жану қозғалтқышының экологиялық сипаттамаларын жақсартуға және тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін гибридті беріліс схемаларын қолданудың алғышарттары анықталды. Газ турбиналы қозғалтқышты ауыр және көлемді беріліссіз жылу қозғалтқышы ретінде пайдалану мүмкіндігі тиімділікті, қуатты арттыруға және көлік құралының жетегінің массасы мен өлшемдерін азайтуға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** гибридті электр станциясы; электр қозғалтқышы; ішкі жану қозғалтқышы; тартқыш батарея; қалпына келтіру; отын тиімділігі; параллель қосылым, сериялық қосылым, гибридті беріліс тізбегі.

## THE CONCEPT OF BUILDING HYBRID POWER UNITS IN THE MODERN AUTOMOTIVE INDUSTRY

A. Yussupov<sup>1</sup>, J. Turgaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<sup>2</sup>Karakalpak State University named after Berdakha, Nukus, Uzbekistan  
e-mail.ru: askerbek\_usa@mail.ru

**Annotation.** The use of hybrid power plants in vehicles operated in urban environments is due to their high environmental performance and low energy consumption compared to traditional internal combustion engines. Environmental performance is achieved by reducing exhaust emissions through the use of converted and stored electricity. Economical performance is achieved through kinetic energy recovery, which increases fuel efficiency. The article discusses and analyzes the issues of development and design of cars with hybrid drive. The principles of building hybrid transmissions from parallel and sequential circuits are analyzed and it is established that the existing hybrid transmission systems cannot withstand serious competition with traditional transmissions. The prerequisites for the use of hybrid transmission schemes have been identified, which demonstrate the advantages of these schemes and make it possible to improve and effectively use the environmental characteristics of an internal combustion engine. The possibility of using a gas turbine engine as a heat engine without a heavy and bulky transmission makes it possible to increase efficiency, power and reduce the weight and dimensions of the vehicle drive.

**Keywords:** hybrid power plant; electric motor; internal combustion engine; traction battery; recovery; fuel efficiency; parallel connection, serial connection, hybrid transmission circuit.