

УДК 621.226:629.424

А. Д. ЖАЛКИН, аспирант, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

## АКТИВАЦИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА

Исследование относится к области транспортного машиностроения, а именно к конструкции гибридных (комбинированных) силовых установок (ГСУ) тягового подвижного состава, оборудованного гидравлической передачей мощности и направлено на исключение из работы ДВС на режимах с низкой топливной экономичностью и высокой токсичностью отработанных газов.

Предложена схема гибридной силовой установки с пневматическим аккумулятором, энергоносителем которой являются выхлопные газы, сжатые до высокого давления.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) не приспособлены к работе в качестве силовой установки транспортных средств. На режимах холостого хода и малых нагрузках двигатель имеет высокие удельные расходы топлива, вызванные нестабильной работой топливной аппаратуры и агрегатов наддува, низким качеством рабочего процесса [1]. Значительными по времени продолжительности работы транспортных двигателей, в т. ч. дизель-поездов, являются неустановившиеся процессы, вызывающие повышенный расход топлива и повышенный выброс оксидов с отработанными газами (ОГ).

Особенностью эксплуатации дизель-поездов пригородного движения является наличие частых остановок с расстоянием между ними от 3 до 10 км, что вызывает значительное время работы двигателя на холостом ходу, малой (не номинальной) мощности, на неустановившихся режимах [2]. Следует отметить, что недостатками существующих конструкций дизель-поездов является то, что при коротких пробегах и частых остановках на железнодорожных станциях дизельные двигатели большую часть времени работают на неноминальных режимах и холостом ходу, которые являются неэкономичными и неэкологичными режимами. На этих режимах работы двигатели имеют повышенный расход топлива, дымность (особенно при трогании с места) и шумность.

Концентрация вредных веществ из систем питания топливом, смазки, вентиляции картерных и отработанных газов двигателей в городах стоянки (например, на вокзалах) создает экологическую опасность пассажирам и обслуживающему персоналу. При передвижении в пригородной зоне и в городах дизель-поезда создают вредное воздействие на окружающую среду выбросами двигателей и шумом [3]. Поэтому, уменьшение расхода топлива и выбросов вредных веществ дизель-поездами в пригородном движении является актуальной задачей.

В настоящее время традиционные поршневые двигатели почти исчерпали резервы увеличения мощности, так как это требует увеличения массы, габаритов и давления наддува в несколько раз, а кривошипно-шатунный механизм также не имеет резервов. Поэтому в настоящее время в мире создаются гибридные (комбинированные) силовые установки (ГСУ), которые дают возможность применять на транспортном средстве (ТС) двигатели меньшей мощности, снизить расход топлива на 20–30 % и до 30 % выбросы вредных веществ, а также делают возможным аккумуляцию тормозной

энергии при движении на уклонах и выбеге (холостом ходу) [4]. При применении ГСУ стремятся к тому, чтобы сгорание топлива происходило около расчетных режимов с постоянной мощностью и минимальным временем неустановившихся режимов.

Для повышения экономичности и уменьшения влияния отработанных газов (ОГ) на окружающую среду и население разработаны гибридные и комбинированные силовые установки (ГСУ) в виде комбинации нескольких двигателей, работающих на различных физических принципах (применение накопителей энергии, рабочего тела в виде воздуха, пара, жидкости и т. п.).

Наибольшее применение ГСУ имеют на автомобильном транспорте, где накопители энергии состоят из аккумуляторных батарей, электрохимических конденсаторов, используется альтернативное топливо [5]. Силовая установка гибридного автомобиля, как правило, включает в себя помимо основного двигателя вспомогательный двигатель и контур рекуперации энергии, притом основной и вспомогательный двигатели питаются от источников различных типов. При большом количестве комбинаций агрегатов для аккумуляции и преобразования энергии на автотранспорте наибольшее применение имеют ГСУ с ДВС в качестве основного двигателя (первичный преобразователь энергии) и вспомогательного двигателя на базе электропривода и электрохимического накопителя энергии, например, аккумуляторной батареи (АБ). Кроме того, такие системы могут быть инерционными (маховик и механическая трансмиссия), пневматическими (пневмодвигатель и баллоны со сжатым воздухом), гидравлическими (гидромотор и насос) [4]. Сочетание ДВС и электродвигателя позволяет получить снижение расхода топлива и выбросов токсичных веществ в атмосферу, но АБ имеет малый срок эксплуатации и, что особенно важно, сложную и дорогую утилизацию.

На железнодорожном транспорте гибридные силовые установки (ГСУ) применяются с накопителями энергии, состоящие из аккумуляторных батарей, электрохимических конденсаторов (компании Alstom, GE, Hitachi, Брянский машиностроительный завод РФ и другие), а также многодизельные тепловозы [6, 7]. Серийно изготавливаются тяговые агрегаты (дизель-электровозы) с электрической передачей мощности в составе электровоза управления, дизельной секции и грузового думпкара, которые применяются в карьерах металлургических комплексов. В Российской Федерации построены маневровый локомотив с гибридной

силовой установкой ЛГМ1 (мощность дизель-генератора – 60 кВт, накопитель на кислотных аккумуляторных батареях – 203 кВт), маневровый тепловоз с комбинированной гибридной силовой установкой ТЭМ35 (мощность – 571 кВт, накопитель на электрохимических конденсаторах емкостью 22,7 МДж), маневрово-вывозной тепловоз с гибридным тяговым приводом ТЭМ9Н «SinaraHybrid» (мощность – 630 кВт, накопитель на литий-железо-фосфатных ( $\text{LiFePO}_4$ ) аккумуляторах и суперконденсаторах мощностью 252 кВт), маневровый тепловоз с гибридной силовой установкой ТЭМ31Г мощностью 294 кВт. Автономный ТПС железных дорог, на котором применено ГСУ, имеет электрическую передачу мощности, поэтому, как правило, на тепловозах применяют накопители электроэнергии и тяговые аккумуляторные батареи. Но рабочей жидкостью гидропередач маневровых тепловозов промышленного транспорта и дизель-поездов является масло, с помощью которого крутящий момент от первичного двигателя (ДВС) передается на движущие колесные пары. Поэтому действующие ГСУ автомобилей и тепловозов с электропередачей мощности с накопителями электроэнергии и АБ невозможно применять на дизель-поездах и тепловозах с гидропередачей мощности [8].

Актуальность проблемы определяется в уменьшении расхода топлива и вредных выбросов ТПС железных дорог, оборудованных гидравлическими передачами мощности (маневровые тепловозы, дизель-поезда и рельсовые автобусы), за счет сокращения времени работы на малых (не номинальных) нагрузках и холостом ходу.

Цель исследования – сформулировать требования и предложить схемы конструктивного решения гибридной (комбинированной) силовой установки ТПС железных дорог с гидравлической передачей мощности.

Комбинированные силовые установки автотранспортного средства (АТС) [9] содержат два двигателя, использующих различные источники энергии – двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и пневмодвигатель. Энергоносителем в пневмосистеме является сжатый до высокого давления (5–30 МПа) воздух, который сохраняется в пневмобаллонах при температуре окружающей среды. Воздух, поступающий из баллона, дросселируется в редукторе высокого давления до рабочего давления 0,6–1,5 МПа со значительным снижением температуры ниже температуры окружающей среды.

Для повышения КПД пневмодвигателя и энергетической активности сжатого воздуха его подогревают в дополнительном теплообменнике до уровня выше 70–80 °С, при этом горячим теплоносителем, который подогревает сжатый воздух, служит жидкость системы охлаждения ДВС. Во втором теплообменнике, расположенном в приемной трубе глушителя ДВС, рабочее тело может нагреваться до температуры от 350 до 450 °С.

Такое решение позволяет получить снижение расхода топлива и выброса токсичных веществ в окружающую среду, утилизирует часть тепловой энергии отработанных газов для подогрева воздуха до его поступления в пневмодвигатель, однако имеет ряд недостатков. Расположение теплообменника в приемной трубе глушителя приведет к появлению дополнительного сопротивления отработанных газов, закоксуванию и загрязнению газозадушного тракта, уменьшает расход

воздуха. В то же время отношение давления наддува  $P_s$  к давлению в выпускном коллекторе  $P_T (P_s/P_T)$  – является важным параметром, влияющим на экономичность работы ДВС. Снижение отношения  $P_s/P_T$  четырехтактных дизельных двигателей (например, двигателей дизель-поездов типа ДР1) приводит к увеличению насосных потерь, снижению коэффициентов наполнения и избытка воздуха, падению эффективного КПД, росту удельного эффективного расхода топлива, снижению моторесурса и, возможно, к возникновению помпажа турбокомпрессора, увеличению температуры отработанных газов [1]. Кроме того, расположение теплообменника в приемной трубе глушителя требует дополнительных затрат на очистку теплообменника от нагара и сажевых отложений.

Накачка воздуха в пневмобаллоны автономным компрессором требует дополнительного расхода топлива на режимах работы двигателя, и не обязательно экономичных, а только по сигналу о наличии воздуха в баллонах. Третий вал планетарного механизма трансмиссии связан с ведущими колесами АТС и автономным компрессором, который имеет постоянный механический привод за время работы ДВС и движения АТС. Это приводит к неэффективному расходу топлива на привод компрессора и увеличению количества ВГ, дополнительному износу его деталей при работе на холостом ходу. В отопительный период вагонов дизель-поезда теплота системы охлаждения дизеля и котла используется, как правило, только для отопления салонов и подогрева топлива.

По этим причинам эффективность предложенной комбинированной силовой установки с компрессором и двумя теплообменниками, которыми дважды предполагается подогревать сжатый воздух теплотой сгорания и охлаждающей жидкости ДВС, будет значительно снижена. Кроме того, большое количество дополнительных составляющих ГСУ (два планетарных механизма трансмиссии, два теплообменника, компрессор, пневмодвигатель, пневмобаллоны и прочее) усложняют конструкцию АТС и увеличивают расходы на техническое обслуживание и отбор мощности ДВС на собственные нужды.

Комбинированная силовая установка дизель-поезда [10] использует также различные источники энергии – ДВС, энергоносителем которого является углеводородное топливо, и пневмодвигатель, который конвертируется из ДВС в пневмодвигатель, энергоносителем которого является рабочее тело, поступающее из пневмобаллонов, которые наполняются автономным свободнопоршневым дизель-компрессором (СПДК) и подогревается в теплообменнике для поднятия температуры воздуха до уровня, близкого к температуре окружающей среды, при этом теплоносителем для подогрева служит атмосферный воздух. Возможно применение для подогрева воздуха после дросселирования до 70–80 °С тепла жидкости системы охлаждения ДВС и котла отдельно, кроме времени отопительного периода пассажирских вагонов.

Совершенствование достигается исключением из состава ГСУ второго источника энергии в виде пневмодвигателя, который планетарным механизмом трансмиссии связан с ведущим мостом. В качестве пневмодвигателя (второго источника энергии) используется штатный ДВС, на

который устанавливается оборудование как для пневмозапуска, при котором коленчатый вал вращается под действием сжатого воздуха, подаваемого в цилиндры дизеля во время такта расширения с выключенной подачей топлива. Крышки цилиндров традиционного ДВС оборудуются пусковыми клапанами, которые подключаются к баллонам со сжатым воздухом главным (маневровым) пусковым клапаном, т.е. двигатель становится конвертируемым (расширительной пневматической машиной) [11]. Давление воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя из пневмоаккумуляторов, должно быть ниже максимального давления сгорания.

Второй отличительной особенностью является применение свободнопоршневого дизель-компрессора (СПДК) для пополнения пневмоаккумуляторов сжатым воздухом. Организация и условия протекания рабочего процесса СПД (рисунок 1) обеспечивают высокий коэффициент полезного действия (КПД) и динамические показатели при отсутствии дымления, вибраций и фундамента.

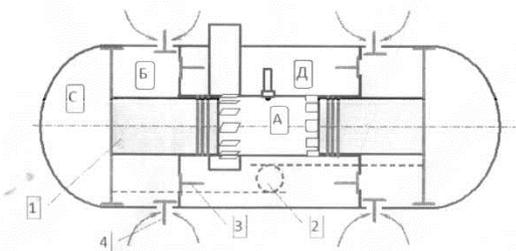


Рисунок 1 – Свободно поршневой генератор газов (расчетная схема):

А – цилиндр сгорания; Б – компрессор; С – буфер; Д – ресивер;  
1 – поршень; 2 – реечный механизм; 3 – нагнетательный клапан;  
4 – выпускной клапан

Среднее индикаторное давление в цилиндре сгорания, соответствующее режиму генерации газов  $P$ , МПа,

$$P_i = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{P_a}{\eta_m T_a (1 + \gamma)} \frac{\varphi_k T_0}{\eta_k} \frac{m_1}{m - 1} \left[ \left( \frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{m_i - 1}{m_i}} - 1 \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – степень сжатия;  $\eta_m$  – механический КПД;  $\gamma$  – коэффициент остаточных газов;  $\varphi_k$  – коэффициент продувки;  $\eta_k$  – КПД компрессора.

Коэффициент избытка воздуха генераторного режима может быть найден по формуле

$$\alpha = \frac{\xi H_u}{L_0 (1 + \gamma) (\mu V_{\text{ч}} - (m_{\text{свс}} T_c - 1,985 \lambda_z) T_c)}, \quad (2)$$

где  $\xi$  – коэффициент эффективного тепловыделения;  $\mu$  – коэффициент молекулярного изменения состава газов;  $V_{\text{ч}}$  – часовой расход топлива;  $\lambda_z$  – степень повышения давления при сгорании;  $H_u$  – низшая теплотворная способность топлива;  $m_{\text{свс}}$  – средняя удельная теплоемкость воздуха.

По известному коэффициенту избытка воздуха генераторного режима производят тепловой расчет генератора со свободно движущимися поршнями.

На длительных режимах холостого хода СПД имеют расход топлива в 30–35 раз меньше, по сравнению с тепловозным дизелем или дизелями дизель-поезда, и практически отсутствуют неустановившиеся режимы [12]. СПДК является лучшим двигателем для создания пневматического аккумулятора с использованием в качестве рабочего тела сжатого воздуха и обеспечения давления воздуха в режиме 7–40 МПа.

Несмотря на более высокий КПД и упрощение конструкции ГСУ дизель-поезда [10] по сравнению с ГСУ АТС [9], такая система не обеспечивает достаточную активацию сжатого воздуха и его температуру, что вызывает дополнительное термическое напряжение деталей цилиндрико-поршневой группы при переходе конвертированного ДВС с пневмодвигателя на режимы работы традиционного ДВС.

На рисунке 2 в виде блочной схемы представлена предложенная ГСУ дизель-поезда.

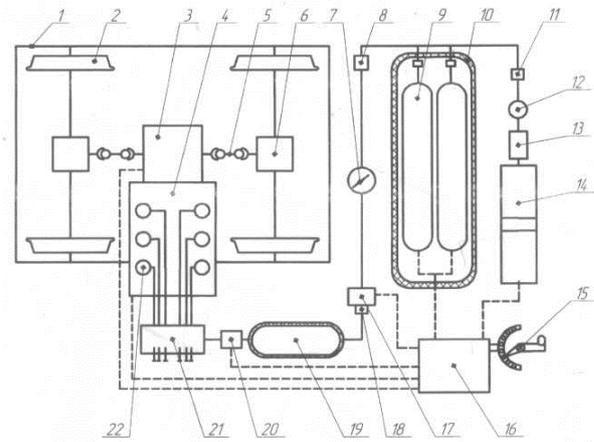


Рисунок 2 – Гибридная силовая установка дизель-поезда с активацией рабочей смеси пневмоаккумулятора:

1 – рама тележки; 2 – движущая колесная пара; 3 – гидропередача; 4 – ДВС; 5 – карданный вал; 6 – осевой редуктор; 7 – электротермометр; 8 – газовой редуктор высокого давления; 9 – пневмобаллон с предохранительным клапаном; 10 – теплоизолированный контейнер; 11 – электромагнитный обратный клапан высокого давления; 12 – уловитель ТЧ; 13 – катализатор ОГ; 14 – СПГГ; 15 – контроллер машиниста; 16 – электронный блок управления; 17 – электронный регулятор давления; 18 – электропневматический клапан регулятора; 19 – термоизолированный ресивер; 20 – главный (маневровый) пусковой клапан; 21 – воздухораспределитель; 22 – пусковые пневматические клапаны

Неограниченное передвижение дизель-поезда при наличии сжатого воздуха в баллонах может обеспечиваться бортовым источником сжатого воздуха в виде автономного свободнопоршневого генератора газа (СПГГ), который значительно экономичнее традиционных ДВС, простой в эксплуатации и ремонте. СПГГ позволяет сжать воздух до нужного значения, которое обеспечивает трогание дизель-поезда с места и необходимую скорость движения, которая задается контроллером машиниста.

В пневмоаккумуляторы (баллоны) вместо воздуха закачиваются отработанные выхлопные газы, которые производятся СПГГ и имеют температуру 400–500 °С, что приводит к энергетической активности сжатой смеси прежде, чем последняя поступит в пневмодвигатель, который сконвертирован из штатного ДВС.

Закачка в баллоны отработанных выхлопных газов, которые производит СПГГ с высокой температурой, исключает из состава ГСУ два теплообменника, которыми подогревался сжатый воздух перед подачей в пневмодвигатель теплотой сгорания и системой охлаждения ДВС, механический компрессор [9]. При этом исчезает проблема нарушения расчетного отношения  $P_s/P_r$ . Для предупреждения загрязнения пневмосистемы выхлопные газы после СПГГ проходят нейтрализацию продуктов сгорания катализаторами и фильтрацию ловушками твердых частиц (ТЧ).

Для сохранения температуры закаченной смеси (выпускных газов СПГГ и остатков наддувочного воздуха)

баллоны размещают в термоизолированном контейнере, а внешняя поверхность ресивера, сглаживающего пульсации давления, которые возникают вследствие неравномерного поступления смеси в цилиндры пневмодвигателя, сконвертированного с ДВС, имеет термоизоляцию.

Согласованность работы ДВС – пневмодвигателя и СПГГ обеспечивает электронный блок управления 16, который получает информацию о тяговом усилии ГСУ, поступающей от контроллера машиниста 15 и от датчиков, регистрирующих режимы работы каждого из элементов пневмосистемы и наличие сжатого воздуха в пневмобаллонах 9.

Управление работой элементов ГСУ осуществляется в следующей последовательности. При приближении дизель-поезда к остановке (вокзала или пункта остановки) машинист на определенном расстоянии (например, в 1 км) выключает двигатель 4, который был тяговым, и дополнительным контактом контроллера машиниста 15 передает сигнал электронному блоку управления 16, который передает команду электронному регулятору давления 17 и его электропневмоклапану 18 на подачу сжатой смеси (ОГ) к главному (маневровому) пусковому клапану 20, и дальше воздухораспределитель 21 направляет воздух к пусковым пневматическим клапанам 22.

С момента вращения коленчатого вала гидропередача 3 из режима смазывания (холостого хода) переходит в режим нагрузки и передает крутящий момент колесным парам 2. Дальнейшее движение дизель-поезда продолжается сконвертированным в пневмодвигатель штатным двигателем. При остановке дизель-поезда от действия штатного пневматического тормоза гидропередача 3 выключается по сигналу ее датчика, электронный блок управления 16 через электронный регулятор давления 17 останавливает подачу сжатой смеси (ОГ). Начало движения дизель-поезда после стоянки осуществляется также по сигналу контроллера машиниста 15 электронному блоку управления 16, и действие пневмосистемы ГСУ повторяется, как это было до остановки с той разницей, что гидропередача 3 сразу начинает работу в режиме нагрузки. После удаления от стоянки (например, вокзала) на определенное расстояние (например, в 1 км) машинист включает двигатель моторного вагона, движущегося вперед, и устанавливает позицию контроллера машиниста 15 в соответствии со скоростью движения дизель-поезда (по показаниям штатного скоростемера). Одновременно отключается электронным блоком управления пневмосистема обеспечения сжатой смесью (ОГ) пневмодвигателя, который становится традиционным ДВС.

Пополнение сжатой смеси ОГ пневмосистемы ГСУ осуществляется автономным СПГГ 14 по команде электронного блока управления 16 по сигналу от пневмобаллонов 9. СПГГ 14 работает независимо от работы двигателя / пневмодвигателя 4, как правило, вне стоянки. Для обеспечения движения дизель-поезда в крупных городах, где время работы сконвертированного двигателя в режиме пневмодвигателя значительно увеличивается, количество пневмобаллонов может корректироваться после испытаний на таких участках. Топливом СПГГ обеспечивается штатной топливной системой дизель-поезда.

Поставленная задача на разработку ГСУ более экономичной и экологической для дизель-поездов решена созданием гибридной ГСУ, которая использует различные источники энергии – энергию углеводородного топлива и энергию сжатой смеси ОГ. Оба вида энергии используются

одним и тем же двигателем, работающим в зависимости от потребности как традиционный ДВС на углеводородном топливе или как пневмодвигатель, питающийся от баллонов со сжатой смесью ОГ. В баллонах сжатая смесь ОГ пополняется автономным СПГГ, который имеет лучшие экономические и экологические показатели по сравнению с традиционным ДВС. Накачка пневмосистемы ГСУ вместо воздуха отработанными газами (смесью продуктов сгорания и остатками наддувочного воздуха с температурой 300 – 400 °С) исключает подогрев смеси ОГ после дросселирования, при этом в конструкции ГСУ отсутствуют теплообменники. Для конвертации ДВС в пневмодвигатель он оборудуется пневматическими пусковыми клапанами, а переход от ДВС к пневмодвигателю и обратно выполняется по команде контроллера машиниста. В результате есть возможность исключить работу ДВС на режимах с низкой топливной экономичностью и высокой токсичностью отработанных газов, снизить расход углеводородного топлива и вредное воздействие этих газов на окружающую среду, особенно на территориях вокзалов и крупных городов, упростить конструкцию ГСУ дизель-поезда, уменьшить расходы на техническое обслуживание.

Математическая модель дизель-поезда может быть описана уравнением

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_c, \quad (3)$$

где  $J$  – момент инерции,  $J = mR_k^2$ ;  $\omega$  – угловая скорость,  $\omega = v / R_k$  – тяговый момент на колесе дизель-поезда;  $M_c$  – момент сопротивления движению;  $R_k$  – радиус колеса;  $m$  – масса дизель-поезда;  $v$  – скорость движения дизель-поезда,  $v = 3,6 \omega R_k$ .

В качестве исходных данных были использованы тяговые характеристики дизель-поезда, а также исходные данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики дизель-поезда

Показатели	Дизель-поезд ДР1А
Состав дизель-поезда	М+4П+М
Конструкционная скорость, км/ч	120
Масса дизель-поезда, т	261
Нагрузка на ось, т:	
тележка моторного вагона	18,5±3 %
поддерживающая тележка вагона	16
прицепного вагона	11,5

Определение тягового момента  $M_T$  в процессе движения дизель-поезда выполнялось согласно уравнению

$$M_T = F_k(v)R_k, \quad (4)$$

где  $F_k(v)$  – тяговая характеристика гидропередачи.

Определение момента сопротивления  $M_c$  в процессе движения выполнялось согласно уравнению

$$M_c = iR_k W_0 G_H, \quad (5)$$

где  $i$  – коэффициент уклона пути (для горизонтального участка  $i = 1$ );  $W_0$  – коэффициент сопротивления движению;  $G_H$  – коэффициент дополнительного сопротивления от кривой.

На данной модели были проведены исследования динамических характеристик дизель-поезда с ГСУ. В случае дизель-поезда массой 261 т тяговый расчет показывает, что дизель-поезд разгоняется до скорости 100 км/ч за 4,1 мин и проходит при этом расстояние 4,8 км. Для обеспечения

данного режима необходимо 2–3 пневматических баллона вместимостью 400 дм<sup>3</sup> соответственно с давлением 25–32 МПа. Отсутствие вибрации и малая высота агрегатов позволяют размещать ВПДК под вагоном дизель-поезда, увеличивая количество пассажирских мест. Максимальное ускорение дизель-поезда с ГСУ на горизонтальном участке пути составило 0,6 м/с<sup>2</sup>.

Перспектива дальнейших исследований состоит в том, чтобы применить разработанную ГСУ на маневровых тепловозах промышленного транспорта, оборудованных гидроредукцией мощности, которые эксплуатируются в закрытых помещениях металлургических комплексов, логистических центрах и др. Это позволит исключить затраты на вентиляцию от задымленности и уменьшить шумовую нагрузку работающего персонала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Симеон, А. Э. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания / А. Э. Симеон, А. З. Хомич, С. Г. Жалкин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 536 с.

2 Басов, Г. Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України : [монографія] / Г. Г. Басов. – Харків: Аспект, 2004. – 240 с.

3 Марченко, А. П. Двигуни внутрішнього згорання : Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / А. П. Марченко, М. К. Рязанцев, А. Ф. Шеховцов. – Харків : НТУ «ХПІ», 2004. – 360 с.

4 Петров, П. П. Комбинированные энергетические установки для железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / П. П. Петров. – Режим доступа: <http://www.ckip.pro/stati/kcuigt.pdf>. – Загл. с экрана. – Дата доступа : 16.10.2014.

5 Гібридні автомобілі / О. В. Бажинов [та інш.] – Харків: Крок, 2008. – 327 с.

6 Щербаков, В. Т. Маневровые локомотивы с комбинированной (гибридной) силовой установкой / В. Т. Щербаков, Л. М. Бондаренко, Ю. П. Ерохин // Локомотив. – 2011. – №. 8. – С. 33–36.

7 Михеев, С. А. Маневровый тепловоз с энергосберегающей силовой установкой [Электронный ресурс] / С. А. Михеев, Н. М. Найш. – Режим доступа: [Imp://dspace.sriu.c.lv.iut:80/ispui/bitstrca/Ti/123456789/454/22/Micheev.pdf](http://dspace.sriu.c.lv.iut:80/ispui/bitstrca/Ti/123456789/454/22/Micheev.pdf). – Загл. с экрана. – Дата доступа : 11.09.2014.

8 Овчинников, В. М. Гидравлические передачи тепловозов : учеб. пособие / В. М. Овчинников, В. А. Халиманчик, В. В. Невзоров. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 155 с.

9 Пат. на корисну модель 82136 Україна, МПК В60К 6/00. Комбінована силова установка автотранспортного засобу / Ф. І. Абрамчук, В. М. Манойло, С. С. Жиліш, А. І. Харченко, О. І. Воронков, Г. М. Шютченко, М. С. Липинський, Л. В. Разарьонов; заявник іпатентовласник Харк. нац. автомоб.-дорож. універ. – u201300167; заявл. 03.01.13; опубл. 25.07.13, Бюл. №14. – 6 с.

10 Пат. на корисну модель 93282 Україна, МПК В60К 5/00. Комбінована силова установка дизель-поезда / О. Д. Жалкіш, С. Г. Жалкін, Д. С. Жалкін, С. П. Карлов, А. М. Кравець, С. В. Михалюв, В. Г. Пузир, Т. Г. Крамчанін; заявник іпатентовласник Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – u201404091; заявл. 16.04.14; опубл. 25.09.14, Бюл. № 18. – 8 с.

11 Дизели : справочник / Б. П. Байков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 480 с.

12 Двигатели внутреннего сгорания : Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей : учеб. для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В. П. Алексеев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.

Получено 10.10.2016

**A. D. Zhalkyn.** Activation of fuel mixture hybrid power plant in diesel train.

The study relates to the field of transport engineering, namely to the design of a hybrid (combined) power units (GSU) traction rolling stock equipped with a hydraulic power transmission and is aimed at excluding from the operation of the internal combustion engine in modes with low fuel efficiency and high toxicity of exhaust gases..

The article includes scheme of the hybrid power plant with a pneumatic accumulator energy source, where the exhaust gases are compressed, to a high pressure.