

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАХТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Рассмотрены пути повышения эффективности работы шахтного локомотивного транспорта за счет замены аккумуляторных электровозов дизелевозами и их адаптации к условиям эксплуатации в Украине.

Розглянуто шляхи підвищення ефективності роботи шахтного локомотивного транспорту за рахунок заміни аккумуляторних електровозів дизелевозами та їх адаптування до умов експлуатації в Україні.

Methods of mining locomotive transport operation efficiency diesel locomotives and their adapting to the operating conditions in Ukraine.

Одной из основных проблем современного шахтного локомотивного транспорта является недостаточная его производительность.

Стремительное старение шахтного фонда, вынуждает, для продления срока службы существующих шахт, осуществлять прирезку запасов у границ шахтных полей. Это привело к увеличению протяженности маршрутов локомотивной откатки.

Уход горных работ на большие глубины приводит к неуклонному росту газообильности и проявлений горного давления. Рост газообильности приводит к невозможности использования контактных локомотивов и усложнению проветривания шахт. Проявления горного давления приводят к ухудшению профиля пути (росту уклонов).

На сегодняшний день основным видом локомотивов (свыше 80% от общего числа) на угольных шахтах, являются аккумуляторные электровозы, путь пробега которых зависит от емкости их батарей и энергозатрат.

В сочетании с увеличением протяженности маршрутов и ограниченным зарядом батарей это приводит к неуклонному росту энергоемкости откатки, снижению весовой нормы поезда, росту продолжительности рейса и, как следствие – падению эффективности работы локомотивного транспорта.

Целью данной работы является поиск путей повышения эффективности работы шахтных локомотивов.

Среднесменный путь пробега локомотивов пытались увеличить следующими путями:

– созданием электровозов получающих энергию из внешнего источника неконтактным путем;

– увеличением энергоемкости химических источников тока применяемых на аккумуляторных электровозах;

– применением локомотивов с двигателями внутреннего сгорания.

Первый и второй пути, на сегодняшний день оказались тупиковыми.

Вредное влияние токов высокой частоты на обслуживающий персонал и опасность возникновения ЭДС индукции в металлических конструкциях вблизи

токоведущего кабеля, недопустимое с точки зрения ПБ привело к свертыванию производства индукционных локомотивов.

Предел повышения энергоемкости аккумуляторных батарей шахтных локомотивов практически достигнут [1] и принципиальное увеличение их энергоемкости возможно лишь за счет увеличения массогабаритных характеристик.

Анализ зарубежного опыта, привел к появлению на угольных шахтах дизелевозов, которые используя высокоэнергетическое дизельное топливо (ДТ) имеют достаточно высокую автономность и энерговооруженность. Однако, внедрение дизелевозов на шахтах Украины, выявило целый ряд проблем связанных с их эксплуатацией.

К их числу относятся:

- несоответствие нормативов содержания вредных веществ в выхлопах дизелевозов производства стран Евросоюза и украинских норм [2];
- необходимость, в соответствии с ПБ, подачи  $5\text{ м}^3$  воздуха на 1 лошадиную силу при работе двигателя внутреннего сгорания в подземных выработках, что при существующих ограничениях на скорость движения вентиляционной струи требует увеличения площади поперечного сечения выработок;
- проблемы с разжижением отработанных газов при совпадении направлений движения дизелевоза и вентиляционной струи;
- проблемы с эксплуатацией локомотивов в тупиковых выработках.

Выхлопы дизельных двигателей представляют собой сложную смесь газов, паров и взвешенных частиц. Состав выхлопных газов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав выхлопных газов дизельного двигателя

Компоненты выхлопных газов	Концентрация
$\text{N}_2$	76–78 об%
$\text{O}_2$	2,0–18,0 об%
$\text{H}_2\text{O}$ (пары)	0,5–4,0 об%
$\text{CO}_2$	1,0–10,0 об%
СО	0,01–0,5 об%
Окислы азота	0,0002–0,5 об%
Углеводороды	0,09–0,5 об%
Альдегиды	0,001–0,009 об%
Сажа	0,01–1,1 г/ $\text{м}^3$
Бензопирен	$10 \times 10^{-6}$ г/ $\text{м}^3$

Объем дизельных выхлопов стараются уменьшить, используя высококачественное, низкосернистое горючее, прошедшее дополнительную очистку, работой дизеля на обедненных смесях, с избытком воздуха, применением каталитической очистки выхлопных газов.

Однако, эти технические решения не позволяют снизить концентрацию вредных веществ до предельно допустимых концентраций (ПДК) установленного действующим украинским законодательством. Современные дизелевозы, отве-

чающие по токсичности выхлопных газов нормативам принятых в США и странах Евросоюза, к эксплуатации на шахтах Украины допущены быть не могут.

Одним из возможных вариантов снижения токсичности выхлопных газов является переход на использование альтернативных видов топлива.

Сравнительная энергоемкость топлив приведена в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная энергоемкость топлив

Энергоемкость	тип топлива				
	Водород (газ)	Природный газ	Бензин	Дизельное топливо	Метанол
Весовая, кВт- час/кг	39,45	15,45	13,36	10,17	6,47
Объемная, кВт- час/м <sup>3</sup> (при дав- лении в одну атм.)	3,53	11,11	9,89	8,3	4,99

Наиболее высокоэнергетическим и нетоксичным из них является водород.

Перспективы перевода дизельных двигателей на газообразное топливо обусловлены накопленным автомобилестроителями опытом перевода дизельных двигателей на природный газ. [3]

Существуют два основных варианта такого прехода:

– переделка дизельного двигателя в газовый, работающий по циклу Отто. При этом, поскольку газ не воспламеняется, подобно дизельному топливу, при увеличении давления в цилиндре на такте сжатия, необходимо дооборудование дизелей системой зажигания. Такие двигатели могут работать только на газообразном топливе.

– приспособление обычного дизеля для работы на смеси ДТ и метана (так называемый газодизельный двигатель.) У газодизеля количество метана в рабочей смеси может колебаться в пределах 20-85% (по весу). Для переделки мотора требуется определенная доводка имеющейся топливной аппаратуры, которая должна обеспечивать стабильную подачу небольших порций дизтоплива на всех режимах работы двигателя для поджига газозооной смеси.

На наш взгляд, наиболее целесообразным решением для условий эксплуатации дизельных двигателей в условиях подземных горных выработок, будет перевод их на наиболее энергоемкий и нетоксичный энергоноситель – водород.

Основной проблемой при использовании водорода являются сложности связанные с его хранением [4].

Хранение водорода в сжатом виде требует высокопрочных многослойных стальных баллонов с внутренними вкладышами из аустенитной стали (соотношение  $\approx 33$  кг стали на 1 кг водорода). Срок службы таких баллонов невелик. Способность водорода диффундировать через углеродистый сплав (например, сталь) иногда сопровождается его разрушением вследствие взаимодействия во-

дорода с углеродом (так называемая декарбонизация). Водородная коррозия металла приводит к утечкам, что создает угрозу взрыва гремучего газа.

Хранение водорода в сжиженном виде, в сосудах Дьюара требует высоких затрат на охлаждение водорода до температуры  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Криогенные емкости не имеют идеальной теплоизоляции, поэтому оборудуются системами для стравливания газообразного водорода в атмосферу, что в условиях ограниченного пространства горных выработок создает угрозу взрыва гремучего газа. Для подачи водорода из криогенных емкостей необходимы системы регазификации, инерционность которых осложняет снабжение дизельных двигателей работающих с переменной нагрузкой.

Хранение водорода в металлгибридах возможно за счет растворимости водород во многих металлах (Ni, Pt, Pd и др.), особенно в палладии (850 объемов на 1 объем Pd). Это позволяет хранить его в танках, содержащих губчатую массу или нанотрубки из благородных металлов. Большинство материалов позволяют сорбировать не более 7-8% водорода в массовой доле, наиболее современные композиты – до 12,4%. Недостаток такого способа хранения – высокая стоимость наполнителя, произвольный выход водорода на контакте губчатой массы с корпусом танка, приводящий к росту давления и возможности его декарбонизации, необходимость прогрева металлгибридов для стимулирования выхода газообразного водорода. Последнее существенно осложняет снабжение двигателей, работающих с переменной нагрузкой.

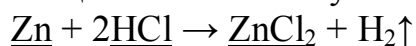
Таким образом, ни один из существующих, на сегодняшний день, способов хранения водорода не позволяет обеспечить безопасное и экономичное хранение водорода на дизелевозах и пневмоколесных самоходных машинах с дизельным двигателем в условиях подземных горных выработок.

Выход из сложившейся ситуации возможен по пути создания компактных генераторов, которые будучи установлены на самом транспортном средстве могут вырабатывать водород. При этом водород будет вырабатываться в таких объемах, которые будут сразу потребляться двигателем, минимизируя тем самым, возможность утечки.

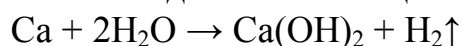
Получение водорода непосредственно на транспортном средстве возможно химическим путем с использованием генераторов по типу ацетиленовых или аппарата Киппа.

При этом, возможно использование следующих химических реакций[5]:

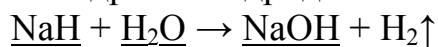
1. Действие разбавленных кислот на металлы. Для проведения такой реакции чаще всего используют цинк и разбавленную соляную кислоту:



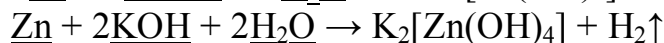
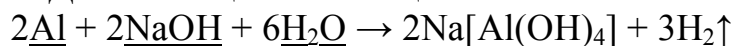
2. Взаимодействие кальция с водой:



3. Гидролиз гидридов:



4. Действие щелочей на цинк или алюминий:



С технической точки зрения, создание таких генераторов не представляет сложности. Здесь возможны варианты подачи твердых гранулированных компонентов стокером (шнековым податчиком) регулируемой производительности в емкость с жидким реагентом или наоборот, дозированного впрыска жидкостей в реактор заполненный гранулированными твердыми химикалиями.

Теоретически, применение химических генераторов в паре с газовыми двигателями позволит принципиально исключить (за исключением окислов азота) выброс в атмосферу горных выработок токсичных веществ.

Однако, в настоящее время, техническая реализация такого решения еще не проработана должным образом. Проблем три:

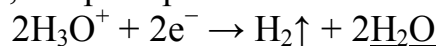
- инерционность химических реакторов, делающая невозможными быстрое изменение их производительности, что затруднит выдачу водорода применительно к изменяющемуся режиму работы двигателя;
- высокая температура сгорания водорода, вынуждающая кардинально изменять систему охлаждения рубашки двигателя и материалы из которых выполнена цилиндропоршневая группа (жаропрочные сплавы, металлокерамика);
- высокая скорость сгорания водорода (детонационная способность), вынуждающая осуществлять мероприятия по ее снижению и приводящая к сокращению срока службы двигателя.

Гораздо перспективнее, с точки зрения простоты реализации, перевод дизельных двигателей в газодизельные. Поскольку вспышка газозеленой смеси осуществляется впрыском небольшой порции ДТ, переделки двигателя сводятся к минимуму, температура вспышки водород+ДТ ниже, чем у чистого водорода и не требует применения специальных сплавов.

Водород для питания двигателя можно получать от компактного электролизера, расположенного на локомотиве. Реостат управления электролизером легко блокируется с топливным насосом, обеспечивая гибкое изменение производства водорода в соответствии с изменением режима работы двигателя.

Способ получения водорода (в литературе водородно-кислородная смесь известна также как: газ Брауна, гремучий газ, коричневый газ, ННО газ, водяной газ, водород, дигидроксид, гидроксид, зеленый газ, клейн газа, оксигидроген) с помощью электролиза достаточно хорошо отработан на практике.

При электролизе водных растворов щелочей или кислот на катоде происходит выделение водорода, например:



Выпуск таких компактных электролизеров для инжекторных и дизельных автомобилей уже освоен рядом отечественных (например ООО «Скайтек ЛТД») и зарубежных фирм (например Alabama Hybrids LLC). На рис.1 приведена одна из моделей автомобильного электролизера с комплектом для его установки на дизельный двигатель.

В ходе реакции водород сгорает с выделением тепла в количестве 285,2 кДж/моль (при жидкой воде). Самые лучшие электролизеры дают КПД до 85%, т.е. затраты на электролиз воды составят  $285,2/0,85 = 336$  кДж/моль. Поскольку величиной "моль" оперировать в данном случае не очень удобно, переведем все в килограммы:  $336 \text{ кДж/моль} = 18666 \text{ кДж/кг}$ .



Рис. 1. Комплект для перевода дизельного двигателя в газодизель, работающий на смеси водород+ДТ

Переведем в мощность выраженную в кВт  $18666 \text{ кДж} = 5,19 \text{ кВт*час}$ . Следовательно, для разложения 1 кг воды на водород и кислород необходимо затратить  $5,2 \text{ кВт*час}$  или  $18666 \text{ кДж}$ . Сколько ДТ необходимо потратить на разложение 1 кг воды? При теплоте сгорания ДТ  $43 \text{ МДж/кг}$  и КПД дизельного двигателя  $\approx 30\%$  полезное количество теплоты составит  $43 * 0,3 = 12,9 \text{ МДж/кг}$ . —  $X = 18,666 / 12,9 = 1,45 \text{ кг ДТ}$ . При плотности ДТ  $0,83$  объем  $V = 1,45 / 0,83 = 1,75 \text{ л}$  Это затраты на разложение 1 кг воды.

Определим сколько энергии выделится. Газ после сгорания превращается в воду в виде пара. Теплота образования воды (при газоподобной воде)  $242 \text{ кДж/моль} = 13,44 \text{ МДж/кг}$ .

Преимущества синтез-газа как топлива, связывают с наличием в нем свободного водорода. Добавка водорода к ДТ топливу увеличивает скорость и полноту его сгорания, способствуя тем самым росту индикаторного КПД. Добавка даже  $10\%$  приводит к снижению расхода ДТ на  $30\text{--}40\%$ .

Более значимым, чем рост КПД и снижение расхода ДТ, для шахтных дизелевозов и пневмоколесных машин, является снижение токсичности выхлопных газов. При добавке  $10\%$  водорода содержание в выхлопных газах сажи (сильного канцерогена) снижается на  $75\%$ , снижается содержание окислов азота, бензопирена и углеводородов. [6]

По мере снижения доли ДТ подаваемого в цилиндр существенно снижаются выбросы  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , углеводородов, альдегидов, сажи бензопирена. Однако рост удельного веса водорода в топливной смеси приводит к повышению тем-

