

Новые аспекты охраны окружающей среды на железных дорогах

Когда в 1998 г. Агентство по охране окружающей среды США (EPA) обнародовало первый пакет требований к составу выхлопных газов, выделяемых в атмосферу тепловозными дизелями, компании — изготовители тепловозов и железные дороги отдавали себе отчет в том, что, по мере того как отрасль будет приближаться к выполнению данных требований, EPA продолжит работу над новыми дополнительными условиями.

Новые требования и способы их выполнения

В 2003 г. агентство приступило к работе над новым тепловозным регламентом. Она была завершена весной 2008 г., и в июле того же года в разделе 40 свода федеральных правил (Code of Federal Regulation, CFR) появилась новая статья 1033. В статье 92 первой редакции документа были сформулированы три уровня требований к выхлопным газам тепловозов: нормы уровня 0 (Tier 0) распространялись на локомотивы, изготовленные с 1973 по 2001 г. и прошедшие капитальный ремонт или модернизацию после 2002 г., а также на некоторые новые тепловозы, выпущенные в 2000–2001 гг.; нормы уровня 1 (Tier 1) — на новые тепловозы выпуска с 2002 по 2004 г.; нормы уровня 2 (Tier 2) — на тепловозы 2005 и более поздних годов выпуска. Статья 1033 добавила к этим уровням два новых — 3 и 4 (Tier 3 и 4), которые будут обязательны для тепловозов постройки 2012–2015 гг., и ужесточила действующие требования, ранее регламентировавшиеся статьей 92.

Регламент CFR предусматривает соответствие большинства тепло-

возов определенным требованиям в режиме перевозок на дальние расстояния по магистральным линиям, для которого характерны высокие нагрузки на силовое оборудование локомотивов, в режиме маневровых операций, когда силовое оборудование используется в основном в режиме холостого хода, а также в режиме работы на грузовых станциях и в зонах плотной жилой застройки. В целях упрощения далее рассматриваются только требования к выбросам в атмосферу вредных веществ при поездной работе на магистральных линиях.

Основными вредными веществами, входящими в состав выхлопных газов, выбрасываемых в атмосферу дизельными двигателями тепловозов, являются оксиды азота (NOx) и различные твердые несгоревшие частицы (PM). Выбросы двуокиси углерода (углекислого газа, CO₂) и несгоревших частиц углеводородов (HC) также регламентируются CFR, хотя тепловозы и не выделяют эти вещества в значительных количествах. Оговорена также допустимая дымность выхлопа.

Основная цель норм Tier 0 и Tier 1 — сокращение на 33 и 50% соответственно выбросов в атмо-

сферу оксидов азота без возможного сопутствующего увеличения других выбросов, особенно PM, содержание которых в выхлопных газах зачастую увеличивается при снижении содержания NOx. Уровень Tier 2 предусматривает снижение содержания NOx на 67% и PM на 50% в сравнении с содержанием этих веществ в то время, когда выбросы не регламентировались.

После опубликования статьи 92 EPA разработало также регламент, ограничивающий выбросы в атмосферу вредных веществ грузовыми автомобилями и другими машинами и агрегатами, оснащенными двигателями внутреннего сгорания. Он предусматривал весьма низкие допустимые показатели по содержанию NOx и PM в выхлопных газах и вводил требования по их дополнительной очистке. После проведения консультаций с компаниями — изготовителями тепловозов в 2003 г. и публикации предварительного варианта регламента EPA проинформировало общественность о намерениях распространить упомянутые нормы на тепловозы и морские суда начиная с 2011 г. Промышленность считала такой срок слишком жестким. В результате предварительный вариант был радикально пересмотрен и в нем появились еще два уровня норм — для новых тепловозов и локомотивов 1973 и более поздних лет постройки. В табл. 1 представлено сопоставление норм содержания NOx и PM в выхлопных газах новых тепловозов (статьи 1033 и 92, уровни Tier 0, 1 и 2). Уровень Tier 3, предназначенный для тепловозов, которые будут выпускаться начиная с 2012 г., предусматривает такое же содержание NOx, как и уровень Tier 2, но вдвое меньшее содержание PM. Уровень Tier 4 вводится с 2015 г. и предполагает обязательную дополнительную нейтрализацию выхлопных газов и снижение содержания NOx на 90%, а PM на 93% в сравнении с аналогичными показателя-

Таблица 1

Нормы содержания оксидов азота (NOx) и твердых частиц (PM) в выхлопных газах дизелей новых тепловозов

Предельное содержание, г/л. с. ·ч	Уровень норм				
	Tier 0 (2000 г.)	Tier 1 (2002 г.)	Tier 2 (2005 г.)	Tier 3 (2012 г.)	Tier 4 (2015 г.)
NOx	9,5	7,4	5,5	5,5	1,3
PM	0,60	0,45	0,20	0,10	0,03

ми, имевшими место в период неконтролируемых выбросов.

В табл. 2 представлены требования по необходимому сокращению выбросов в атмосферу вредных веществ эксплуатируемыми в настоящее время тепловозами. Отраженные в статье 1033 требования ЕРА часто обозначаются как Tier 0+, 1+ и 2+ в части выбросов PM: у тепловозов, отвечающих требованиям уровней Tier 0 и 1, содержание PM необходимо снизить до уровня Tier 2, а у тепловозов, отвечающих требованиям уровня Tier 2, — до уровня Tier 3. Так же как и в статье 92, требования для эксплуатируемых тепловозов применимы и к тепловозам, прошедшим капитальный ремонт. Требования уровней Tier 0+ и 1+ действительны для тепловозов, которые подвергнутся капитальному ремонту в 2010 г., а уровня Tier 2+ — для тепловозов, капитально отремонтированных в 2013 г. Однако в любом случае новые требования вступили в силу в 2008 г. и обязательны к исполнению, если на момент капитального ремонта сертифицированы технологии его выполнения. В 2008 г. железные дороги были обязаны использовать сертифицированные технологии на поло-

вине тепловозов, проходящих капитальный ремонт, а в 2009 г. на 70% ремонтируемых тепловозов.

В соответствии с новыми требованиями все тепловозы, отвечающие нормам статьи 1033, при изготовлении или после прохождения капитального ремонта должны быть оснащены устройствами, ограничивающими работу дизелей в режиме холостого хода. Максимально допустимая продолжительность работы дизеля на холостом ходу составляет 30 мин. Следующий пуск двигателя допускается только в случае необходимости с целью сохранения работоспособного состояния, подзарядки аккумуляторных батарей, создания необходимого запаса сжатого воздуха для тормозной системы или создания комфортных и безопасных условий работы для локомотивных бригад.

Уровень Tier 3 для новых тепловозов, так же как уровни Tier 0+, 1+ и 2+ для эксплуатируемых, может быть реализован за счет модернизации или дооснащения дизельных двигателей таким же образом, как это осуществлялось для соблюдения действовавших ранее норм. ЕРА, проявив дальновидность, не разрабатывало требова-

Таблица 2

Нормы содержания оксидов азота (NOx) и твердых частиц (PM) в выхлопных газах дизелей эксплуатируемых тепловозов

Предельное содержание, г/л. с. ·ч	Уровень норм					
	Tier 0 (2010 г.)		Tier 1 (2010 г.)		Tier 2 (2013 г.)	
	Статья 92	Статья 1033	Статья 92	Статья 1033	Статья 92	Статья 1033
NOx	9,5	8,0	7,4		5,5	
PM	0,60	0,22	0,45	0,22	0,20	0,10

ния для очень старых тепловозов, модернизация которых экономически неоправданна. Так, не требуется оснащение устаревших локомотивов независимым контуром принудительного охлаждения воздуха, если таковой изначально отсутствует.

В статье 92 регламента ЕРА определено, что один и тот же дизель в легких режимах работы с частичной нагрузкой выбрасывает в атмосферу больше загрязнителей, чем в тяговом режиме с полной нагрузкой. В соответствии с этим требования к магистральным тепловозам в режиме работы с неполной нагрузкой более жесткие, чем к маневровым. В статье 1033 ЕРА определило менее жесткие нормы сокращения вредных выбросов, соответствующие уровням Tier 3 и 4 и реализуемые за счет разного рода модернизаций силовых установок маневровых локомотивов. Сопоставление этих норм представлено в табл. 3.

Основным и необходимым условием эффективного применения устройств дополнительной нейтрализации выхлопных газов является использование дизельного топлива с пониженным содержанием серы, которая снижает эффективность действия многих каталитических устройств. Начиная с июня 2007 г. в соответствии с требованиями ЕРА содержание серы в дизельном топливе, предназначенном для тепловозных дизелей, не должно превышать 500 миллионных долей (мд), а после июня 2012 г. этот показатель необходимо снизить до 15 мд. Однако уже сейчас на тепловозах в большинстве случаев используется топливо, давно применяющееся на грузовых автомобилях и имеющее содержание серы менее 15 мд.

Устройства для дополнительного сокращения содержания PM в выхлопных газах включают в себя окислительные нейтрализаторы, которые сжигают летучие компоненты не сгоревших в двигателе твердых частиц, а полученные по-

сле этого продукты улавливают соответствующими фильтрами. Этот процесс требует частого восстановления при высокой температуре для сжигания отфильтрованной сажи и периодического удаления золы, образующейся после восстановления. Для удаления из выхлопных газов NOx современные технологии предлагают избирательное каталитическое восстановление (selective catalytic reduction, SCR), основанное на применении реагента (обычно это водный раствор карбамида), который разлагается при нагревании с выделением аммония. Последний соединяется с NOx в присутствии катализатора, в результате чего образуются углекислый газ и вода. В системах SCR на входе часто используются нейтрализаторы для окисления части закиси азота (NO является преобладающим в выхлопных газах соединением азота среди других оксидов азота NOx) в двуокись азота (NO₂), что позволяет оптимизировать рабочие показатели системы. Кроме того, перед выходом из систем SCR часто устанавливается катализатор для более полного окисления аммиака с целью исключения распространения остаточного неприятного запаха.

Размещение всех упомянутых устройств на современных локомотивах с учетом имеющихся ограничений по массе и свободному пространству является достаточно сложной задачей. Кроме того, использование карбамида в системах дополнительной очистки выхлопных газов требует создания соответствующей инфраструктуры для снабжения тепловозов этим химическим соединением. Более того, необходимо оснащать тепловозы устройствами, исключающими замерзание раствора карбамида в регионах с отрицательными зимними температурами.

Статья 92 содержит положения, согласно которым малые железные дороги освобождаются от необходимости оснащать тепловозы ком-

плектами оборудования, улучшающего их экологические характеристики, при выполнении капитального ремонта, но приобретаемые ими новые локомотивы должны соответствовать установленным нормам. Малые железные дороги подпадают под действие правил Администрации малого бизнеса США, которые предусматривают для них определенные льготы. В статье 1033 эти положения изменены: подчеркнуто, что железные дороги как первого, так и второго класса не могут считаться малыми, следовательно, они обязаны модернизировать тепловозы при выполнении капитального ремонта по единым нормам.

Изменен также порядок эпизодического (в исключительных случаях) использования на железных дорогах США несертифицированных тепловозов, эксплуатируемых в Канаде и Мексике. В соответствии со статьей 92 таким локомотивам, не отвечающим требованиям EPA, позволялось работать на железных дорогах США без регламентации понятия «эпизодическое использование». Новые правила требуют от железных дорог в каждом конкретном случае получать от EPA соответствующее разрешение до начала использования несертифицированных иностранных тепловозов.

Новые требования EPA к вредным выбросам в атмосферу, возникающим в результате эксплуатации тепловозов, безусловно окажут существенное влияние на деятельность компаний — изготовителей и операторов на территории США, но уже сейчас можно предположить следующее:

- тепловозы, отвечающие требованиям уровня Tier 4, будут стоить дороже, поскольку комплекты устройств для дополнительной нейтрализации выхлопных газов имеют относительно большие размеры, выпускаются мелкими партиями и предусматривают использование металлов платиновой группы в каталитических фильтрах твердых ча-

стиц, и поэтому их стоимость примерно такая же или даже больше, чем собственно дизеля;

- расходы на эксплуатацию тепловозов, отвечающих требованиям уровня Tier 4, также повысятся, поскольку для устройств SCR необходимо постоянное пополнение запаса реагента. Если компании-изготовители намерены добиться соответствия Tier 4 при минимальном увеличении расхода топлива, им придется разрабатывать и принимать дополнительные мероприятия для максимальной экономии топлива;

- увеличатся расходы на техническое обслуживание и ремонт тепловозов. Внутреннее пространство локомотивов будет значительно плотнее заполнено оборудованием для дополнительной нейтрализации выхлопных газов. Это существенно усложнит и увеличит продолжительность необходимых операций (дополнительные расходы возникнут еще и в связи с необходимостью периодической очистки и замены элементов катализаторов);

- возрастет уровень требований к персоналу и оборудованию, необходимому для выполнения технического обслуживания и ремонта сертифицированных тепловозов. От поставщиков потребуются разработка и изготовление усовершенствованных компонентов дизельных двигателей, влияющих на концентрацию вредных составляющих в выхлопных газах, — поршней, поршневых колец, втулок цилиндров, турбонагнетателей наддува, топливных форсунок и т. п.;

- преимущества железных дорог перед грузовым автомобильным транспортом с точки зрения управления выбросами вредных веществ в атмосферу будут нивелированы, поскольку оба вида транспорта должны обеспечить одинаково низкий уровень выбросов. Вместе с тем у железных дорог сохраняется четырехкратное преимущество в удельном расходе топлива на еди-



Рис. 1. Тепловоз серии 3GS21В железной дороги Burlington Northern Santa Fe, построенный NRE с использованием механической части старого четырехосного тепловоза и оснащенный тремя новыми дизелями компании Cummins мощностью по 700 л. с.

ницу перевезенного груза, а, поскольку выделение углекислого газа напрямую зависит от экономии топлива, требования ЕРА относительно сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу на железных дорогах будут выполняться эффективнее.

Реализация требований

Повышение экологической эффективности железнодорожного транспорта было бы невозможным без большого объема работ, уже выполненных компаниями — изготовителями тепловозов.



Рис. 2. Тепловоз серии BL20GH департамента транспорта штата Коннектикут постройки ВЕС, оснащенный дизелем компании MTU-Detroit Diesel и используемый в пассажирском движении

По состоянию на конец 2009 г. многие компании освоили изготовление тепловозов разных семейств и серий, по своим экологическим характеристикам удовлетворяющих требованиям ЕРА уровня Tier 2 или даже превышающих эти требования. При этом сначала наибольшую активность проявили небольшие компании, выпускающие тепловозы относительно малой мощности, используемые в пассажирской и маневровой работе, т.е., как правило, в зонах жилой застройки, где предъявляются повышенные требования по охране окружающей среды.

Компания National Railway Equipment (NRE) выпускает маневровые локомотивы семейства N-ViroMotive, в которое входят тепловозы нескольких серий (рис. 1), оснащенные двумя или тремя дизель-генераторными установками, которые позволяют (в сравнении с однодизельными тепловозами той же мощности) существенно повысить топливную экономичность (удельный расход топлива снижен на 35–50%) и сократить выделение вредных выбросов в атмосферу (на 50–80%).

Компания Railpower Technology (RPT) поставила железной дороге Union Pacific (UP) около 100 маневровых тепловозов семейства RP GenSet средней мощности с тремя дизель-генераторными установками, которые отвечают требованиям ЕРА уровня Tier 3 и позволяют существенно экономить дизельное топливо. Пример этой железной дороги способствовал росту спроса на аналогичные локомотивы со стороны других потребителей.

Компания MotivePower Industries (MPI) выпускает маневрово-вывозные тепловозы серии MPExpress, оснащенные двумя или тремя дизель-генераторными установками, катализаторами выхлопных газов, микропроцессорными системами контроля состава выхлопных газов корпорации Wabtec. Примененные инновации обес-

печивают высокий спрос на эти локомотивы.

Корпорация Brookville Equipment (BEC), производственные мощности которой сертифицированы Ассоциацией американских железных дорог на соответствие стандарту М-1003, выпускает тепловозы с учетом всех современных достижений в области локомотивостроения, что обеспечивает высокую топливную экономичность при максимальном для четырехосных локомотивов тяговом усилии. Тепловоз серии BL20GH (рис. 2) оснащен дизелем мощностью 2250 л. с., отвечающим по содержанию вредных веществ в выхлопных газах уровню Tier 2 требований ЕРА. По запросам заказчиков на локомотиве может быть дополнительно установлено оборудование типа НЕР, улучшающее экологические характеристики.

Маневровые тепловозы семейства CoGeneration той же компании оснащены тремя силовыми установками общей мощностью 2100 л. с., позволяющими реализовать принцип «мощность по потребности» и соответствующими требованиям ЕРА уровня Tier 3, и высокоэффективной системой рекуперативного торможения, обеспечивающей существенную экономию энергии. На тепловозах этого семейства устанавливаются также самоочищающиеся фильтры, сокращающие выбросы в атмосферу оксидов азота и твердых несгоревших частиц. Тепловозы CoGeneration прошли испытания на многих железных дорогах первого класса и второстепенных линиях, в том числе в штатах Калифорния и Техас, где действуют более строгие в сравнении с другими регионами США требования по защите окружающей среды, и получили высокую оценку потребителей.

Не остаются в стороне и самые крупные локомотивостроительные компании. Electro-Motive Diesel (EMD) строит маневровые тепловозы семейства GP, а также реторизирует магистральные тепло-



Рис. 3. Тепловоз серии SD22ECO железной дороги Kansas City Southern de Mexico мощностью 2150 л. с. (бывший тепловоз серии SD40, реторизованный EMD с установкой нового экономичного и экологичного дизеля типа V8 710G3A)



Рис. 4. Тепловоз семейства ES Evolution с дизелем типа GEVO (фото: GE Transportation Systems)

возы семейства SD (рис. 3). Диапазон мощности таких тепловозов, на которых устанавливаются дизельные двигатели как самой EMD, так и компании Caterpillar с пониженным выделением в атмосферу вредных веществ, — от 1500 до 4300 л. с.

К числу экологически чистых локомотивов компании General Elec-

tric Transportation Systems (GETS) относятся магистральные тепловозы семейства ES Evolution мощностью 4000–4400 л. с., оснащаемые новыми дизелями типа GEVO (рис. 4).

D. E. Brann. Railway Age, 2008, № 9, р. 49–50, 52, 54–56.