

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ СОДЕРЖАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ**

**В. А. БЕЛОУСОВ**, канд. техн. наук, доцент  
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Д. В. БЕЛОУСОВ**, студент, ФИТР  
УО «Белорусский национальный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь

Дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) используются в качестве источника энергии как на транспортно-тяговых средствах, так и на стационарных установках. Образование вредных веществ в дизельных ДВС – это естественный результат процесса сгорания топлива и смазочного масла. Поэтому широкое применение дизельных ДВС влечет за собой и повышенное внимание к ним как участникам процесса загрязнения окружающей среды вследствие выброса вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) в атмосферу.

ОГ дизелей представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц. Всего ОГ ДВС содержат около 280 компонентов, среди которых можно выделить содержащиеся в воздушном заряде азот  $N_2$  и кислород  $O_2$ , продукты полного сгорания топлива (диоксид углерода  $CO_2$  и водяной пар  $H_2O$ ), вещества, образующиеся в результате термического синтеза из воздуха при высоких температурах (оксиды азота  $NO_x$ ), продукты неполного сгорания топлива (монооксид углерода  $CO$ , углеводороды  $CH_x$ , дисперсные твердые частицы, основным компонентом которых является сажа, а также оксиды серы, альдегиды, продукты конденсации и полимеризации).

Содержание тех или иных веществ в ОГ ДВС зависит как от вида используемого топлива, так и от типа организации и совершенства рабочего процесса дизельного двигателя. Поэтому обычно указывают достаточно широкие пределы содержания в ОГ различных компонентов.

Уровень токсичности ОГ дизельных ДВС оценивается на основании результатов их испытаний по строго оговоренным в международных и национальных стандартах методикам. При этом стандарты учитывают область применения объектов, на которые устанавливают двигатели, тип транспортного средства, уровень мощности двигателя, ис-

пользуемое топливо, состояние окружающей среды, методы и средства измерения различных параметров и многое другое.

Сегодня часто можно слышать и читать о европейских нормах токсичности ОГ двигателей транспортных средств Euro (Euro-2/3/4/5/6). Однако на внедорожные машины они не распространяются. Для самоходной, в том числе и сельскохозяйственной, техники существуют собственные нормы – Stage. Общеизвестно, что европейские нормы токсичности являются одним из главных двигателей прогресса в двигателестроении. Нормами Stage регламентируется максимальное содержание в ОГ четырех токсичных составляющих – окиси углерода (CO), углеводородов (CH), окислов азота (NO<sub>x</sub>) и твердых частиц или сажи (PM).

Первые законодательные нормы Евросоюза, ограничивающие токсичность ОГ внедорожных самоходных машин, были опубликованы 27 февраля 1998 г. (Директива 97/68/EC) [1, 2]. Нормы для дизелей внедорожных машин вводились в два этапа: Stage I вступили в силу в 1999 г., Stage II – в зависимости от полезной мощности двигателей с 2001 г. по 2004 г. Под действие этих стандартов попадают промышленные буровые установки, компрессоры, строительные колесные погрузчики, бульдозеры, внедорожные грузовые транспортные средства, мобильные экскаваторы, которые могут передвигаться по дорогам общего пользования, вилочные погрузчики, машины для уборки и ремонта дорог, снегоуборочная техника, наземное вспомогательное оборудование для аэропортов, оборудование вертикального доступа, подъемники, а также самоходные подъемные краны. Сельскохозяйственные и лесозаготовительные тракторы также попадают под действие этих стандартов, однако сроки вступления в силу для них иные (Директива 2000/25/EC от 22 мая 2000 г.).

Стандарты EC Stage V (табл. 1) являются новыми актуальными действующими экологическими стандартами по ограничению вредных выбросов двигателей внедорожной техники [1, 3]. Если стандарты Stage IV распространялись на двигатели мощностью от 56 до 560 кВт, то в сферу действия Stage V попадут все силовые агрегаты независимо от мощности: менее 19 кВт и свыше 560 кВт.

Последние исследования ученых показали, что на здоровье человека очень опасное влияние оказывают частички сажи, содержащиеся в ОГ, причем наиболее опасны для здоровья человека мельчайшие частицы размером меньше микрона. Эти частицы могут проникать глубоко в легкие и накапливаться там, поэтому в нормах Stage V введены новые ограничения по содержанию в ОГ двигателей твердых частиц (сажи) не только по массе – PM, но и по количеству – PN, а также окислов азота NO<sub>x</sub>. Норма PN введена для того, чтобы высокоэффективные технологии фильтрования твердых частиц (сажи), например

фильтры с активной (управляемой) регенерацией, гарантированно использовались на всех двигателях, подпадающих под действие данных норм.

Т а б л и ц а 1. Нормы Stage V

Тип двигателя	Диапазон мощности, кВт	Год	CO	CH	NO <sub>x</sub>	PM (масса частиц)	PN (количество частиц)	
								г/кВт·ч
Дизель	P < 8	2019	8,00	7,50 <sup>a,c</sup>			0,40 <sup>b</sup>	–
Дизель	8 ≤ P ≤ 19	2019	6,60	7,50 <sup>a,c</sup>			0,40	–
Дизель	19 ≤ P ≤ 37	2019	5,00	4,70 <sup>a,c</sup>			0,015	1x10 <sup>12</sup>
Дизель	37 ≤ P ≤ 56	2019	5,00	4,70 <sup>a,c</sup>			0,015	1x10 <sup>12</sup>
Все	56 ≤ P ≤ 130	2020	5,00	0,19 <sup>c</sup>	0,4	0,015	1x10 <sup>12</sup>	
Все	130 ≤ P ≤ 560	2019	3,50	0,19 <sup>c</sup>	0,4	0,015	1x10 <sup>12</sup>	
Все	P > 560	2019	3,50	0,19 <sup>d</sup>	3,5	0,045	–	

<sup>a</sup> CH + NO<sub>x</sub>  
<sup>b</sup> 0,6 для двигателей с ручным пуском, воздушным охлаждением и непосредственным впрыском  
<sup>c</sup> Коэффициент A = 1,1 для газовых двигателей  
<sup>d</sup> Коэффициент A = 6 для газовых двигателей

На основе директив Евросоюза должны быть созданы национальные законы государств-членов. Переходный период с налоговыми льготами продолжительностью до двух лет предоставляется в большинстве стандартов токсичности ОГ двигателей внедорожных машин для двигателей, произведенных до официальной даты вступления в действие законодательства. Поскольку конкретную продолжительность каждого льготного периода, от 0 до 2 лет самостоятельно определяет каждое государство – член Евросоюза, точный график введения в действие законодательства может различаться в разных странах [1].

Каждый стандарт токсичности ОГ, установленный Евросоюзом, обычно имеет две актуальные даты: дата одобрения типа стандарта, после которой все новые модели, получающие одобрения типа стандарта, должны соответствовать данному стандарту; дата выхода на рынок (или первой регистрации), после которой все двигатели, выпускаемые на рынок, должны соответствовать данным стандартам.

Все даты, указанные в табл. 1, являются датами выхода на рынок. Обычно дата одобрения типа стандарта устанавливается на год раньше соответствующей даты выхода на рынок. До двух лет устанавливается длительность периода продажи, который предусматривается для двигателей, произведенных до соответствующей даты выхода на рынок. Поскольку конкретную длительность периода продажи – от нуля до двух лет – каждое государство Евросоюза определяет самостоятельно,

точные временные рамки действия законодательства в разных странах могут различаться.

Что касается экологических стандартов США, то первые законы о защите окружающей среды были разработаны и введены Советом по защите воздушных ресурсов штата Калифорния. Их целью являлось снижение вредного влияния двигателей внутреннего сгорания на окружающую среду. Первоначально были ограничены выбросы дорожных транспортных средств, и лишь позже установили нормы для двигателей, используемых для других целей [4].

Федеральные стандарты Tier 1 для дизельных двигателей новых внедорожных машин были приняты в 1994 г. Под их действие подпадали силовые агрегаты мощностью свыше 37 кВт (50 л. с.). В 1996 г. было подписано Соглашение о принципах (Statement of Principles – SOP) между Управлением по защите окружающей среды США (EPA), Советом по природным ресурсам Калифорнии (ARB) и компаниями-производителями двигателей, в числе которых Caterpillar, Cummins, John Deere, Detroit Diesel, Deutz, Isuzu, Komatsu, Kubota, Mitsubishi, Navistar, New Holland, Wis-Con и Yanmar [4, 5]. Нормы должны были вступить в действие поэтапно, в период с 1996 г. по 2000 г.

27 августа 1998 г. EPA утвердило окончательную редакцию норм, отражающую положения SOP. Этот документ относился и к дизельным двигателям внедорожных машин. В том же году были введены стандарты Tier 1 для двигателей мощностью ниже 37 кВт (50 л. с.) и более жесткие Tier 2 и Tier 3 для всех двигателей. Tier 2 и Tier 3 решено было вводить в действие поэтапно, с 2000 г. по 2008 г.

Современные действующие нормы Tier 4 также были введены поэтапно, с 2008 г. по 2015 г. Нормы Tier 4 для двигателей мощностью менее 560 кВт и свыше 560 кВт представлены в табл. 2 [5]. Нормы предусматривают значительное сокращение  $\text{NO}_x$  (для двигателей мощностью свыше 56 кВт) и сажи (свыше 19 кВт), а также более строгие ограничения содержания СН. Нормы содержания СО остаются без изменений такими же, как в Tier 2...3.

В настоящее время Tier 4 соответствует стандартам Stage IV. Tier 4 и Stage IV схожи не только номенклатурой, но и нормами. Это сделано для того, чтобы в условиях современной глобализации не было необходимости для каждого рынка создавать отдельные двигатели. Новый стандарт Tier 5 пока еще не принят [4, 6].

Специалисты считают, что для выполнения норм Stage V и Tier 5 не потребуется кардинальных изменений в существующих на сегодняшний день технологиях [1, 6, 7]. Скорее всего выполнить нормы Stage V можно будет путем эволюции уже существующих технологий, которые применяются в двигателях, соответствующих требованиям норм Stage IV, а не революционными изменениями в составе и конструкции

ях систем и механизмов двигателя. Чтобы выполнить требования норм Stage IV, многие производители двигателей используют дизельный окислительный каталитический нейтрализатор DOC и систему селективной каталитической нейтрализации SCR. Однако при переходе к нормам Stage V к этому оборудованию, вероятно, придется добавить сажевый фильтр DPF [6, 7].

Таблица 2. Нормы Tier 4

Двигатели до 560 кВт						
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	Год	CO	NMHC	NMHC + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
		г/кВт·ч				
Менее 8 (менее 11)	2008	8,0 (6,0)	–	7,5 (5,6)	–	0,4 (0,3)
8...19 (11...25)	2008	6,6 (4,9)	–	7,5 (5,6)	–	0,4 (0,3)
19...37 (25...50)	2008	5,5 (4,1)	–	7,5 (5,6)	–	0,3 (0,22)
	2013	5,5 (4,1)	–	4,7 (3,5)	–	0,03 (0,022)
37...56 (50...75)	2008	5,0 (3,7)	–	4,7 (3,5)	–	0,3 (0,22)
	2013	5,0 (3,7)	–	4,7 (3,5)	–	0,03 (0,022)
56...130 (75...175)	2012–2014	5,0 (3,7)	0,19 (0,14)	–	0,4 (0,3)	0,02 (0,015)
30...560 (175...750)	2011–2014	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	–	0,4 (0,3)	0,02 (0,015)

Двигатели более 560 кВт					
Год	Категория	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
2011	Генераторные установки мощностью более 900 кВт	3,5 (2,6)	0,40 (0,30)	0,67 (0,50)	0,10 (0,075)
	Все двигатели, кроме генераторных установок мощностью более 900 кВт	3,5 (2,6)	0,40 (0,30)	3,5 (2,6)	0,10 (0,075)
2015	Генераторные установки	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	0,67 (0,50)	0,03 (0,022)
	Все двигатели, кроме генераторных установок	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	3,5 (2,6)	0,04 (0,03)

В заключение следует отметить, что для того чтобы добиться соответствия двигателей все ужесточающимся нормам, практически всем моторостроителям придется в конечном счете снабдить свою продукцию сложной электронной аппаратурой управления и компьютерными программами [1, 7]. Разработки таких систем требуют больших усилий и средств. Производители двигателей всеми средствами воздействуют на законодательные органы Евросоюза, США и Японии, добиваясь гармонизации норм токсичности ОГ во всем мире [2]. Унификация законодательств устранит препятствия к совершенствованию двигателей и сертификации (одобрению) типа двигателей на различных рынках.

Для гармонизации с нормами Stage V в экологические стандарты США придется внести некоторые принципиальные изменения: как уже

говорилось, в Stage V ограничивается количество твердых частиц (PN) в выбросах, и для выполнения этих требований необходимо обязательно использовать сажевый фильтр DPF, в то время как нормы Tier 4 могут быть выполнены без использования сажевого фильтра [4, 5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Emission Standards [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dieselnet.com/standards/>. – Дата доступа: 27.11.2019.
2. Bharat stage emission standards. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bharat\\_stage\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/Bharat_stage_emission_standards). – Дата доступа: 27.11.2019.
3. EU: Nonroad Engines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#s5>. – Дата доступа: 27.11.2019.
4. Emission Standards Reference Guide. United States Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/all-epa-emission-standards>. – Дата доступа: 27.11.2019.
5. United States: Nonroad Diesel Engines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dieselnet.com/standards/us/nonroad.php>. – Дата доступа: 27.11.2019.
6. Новый стандарт Stage5/Tier5 в скором времени продолжит борьбу с токсичными выхлопами дизельных двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://allspectech.com/novosti/novyyj-standart-stage5-tier5.html>. – Дата доступа: 27.11.2019.
7. Agriculture Engines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cummins.com/engines/agriculture>. – Дата доступа: 27.11.2019.

УДК 631.333.44

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ШТАНГОВЫХ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**

В. Р. ПЕТРОВЕЦ, д-р техн. наук, профессор

И. Л. ПОДШИВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент

Н. И. ДУДКО, канд. техн. наук, профессор

С. А. СИДОРОВ, инженер

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Плодородие почв отнесено к числу государственных приоритетов. Одним из определяющих показателей плодородия почв является содержание гумуса. По результатам последнего тура следования оно составляет всего лишь 2,25% [1, 2, 3], причем наблюдается тенденция к его снижению. Объясняется такое положение недостаточными объемами и несовершенством технологий применения органических удобрений, являющихся основным источником для образования гумуса. С увеличением содержания гумуса в почве улучшаются физико-химические свойства. На этом фоне значительно возрастает эффективность вносимых минеральных удобрений [4, 5, 6].