

ЕКОЛОГИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СТРОИТЕЛНИТЕ МАШИНИ В КОНТЕКСТА НА УСТОЙЧИВОТО СТРОИТЕЛСТВО

Калин Радлов¹, Лъчезар Хрисчев², Юлия Работова-Христова³, Яна Кънчева⁴

РЕЗЮМЕ

Настоящата разработка третира важни въпроси, свързани с ролята на екологичните показатели на строителните машини в контекста на устойчивото строителство и тяхното цялостно влияние върху екологичния отпечатък от работата на машините. Представени са изисквания на различни нормативни бази към двигателите на строителните машини, по отношение на отделяните вредни емисии, както и стандарти за тяхното измерване. Разгледани са различни групи фактори на устойчиво развитие на строителните машини, техният измерител, както и източниците за установяването им. Направен е кратък анализ по отношение на ролята на екологичните декларации на строителни машини в общия процес на устойчиво строителство, като е предложена зависимост за определяне на общия генериран екологичен отпечатък от дадена строителна машина по време на нейната експлоатация за изграждането на конкретна сграда. Формулирани са изводи и заключения, както и препоръки за възможни мерки, свързани с намаляване на екологичните въздействия от работата на строителните машини.

Ключови думи: строителни машини; екологични индикатори; устойчиво строителство.

¹ доц. д-р инж., УАСГ, София, България, kradlov@abv.bg

² доц. д-р инж., УАСГ, София, България, l.hrishev@abv.bg

³ инж., докторант, УАСГ, София, България, y.rabotova@gmail.com

⁴ гл.ас. д-р инж., УАСГ, София, България, kancheva_fgs@uacg.bg

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Строителната механизация интегрира в себе си голяма група машини, при които основният стремеж на техните ползватели е към постигането на все по-голяма ефективност и производителност, а оттам и икономически ефект, но не на последно място, трябва да се имат предвид също и екологичността им и показателите за устойчиво развитие, тъй като от тях се явяват пряко засегнати околната среда и животът на хората. По-голямата част от строителните машини биват задвижвани от дизелови двигатели с вътрешно горене, представляващи съществен източник на вредни емисии (съставени основно от газове и прахови замърсители). Установено, че в сравнение с тежките транспортни камиони, отговарящи на EURO 5 или EURO 6 стандартите, то строителните машини отделят до 10 пъти повече фини прахови частици [1]. Фактът, че често пъти се налага да работят по-продължително време на едно и също място се явява особено пагубен при строителните площадки, които са разположени на ключови места в инфраструктурата (като например, в оживена градска среда), тъй като именно тези машини допринасят за високата концентрация на замърсители, вредни за здравето на строителните работници и живущите в близост до строителната площадка. И докато автомобилният транспорт в Европейския съюз бива подложен на множество ограничителни и регулиращи мерки за намаляване на вредните емисии, то подобно нещо (в същата степен) все още не може да се каже за строителната механизация. Всичко това придава особена важност и налага да се обърне по-сериозно внимание на въпросите, произтичащи от екологосъобразността и факторите за устойчиво развитие, свързани със строителните машини.

2. МОЩНОСТНИ ДАННИ И НОРМАТИВНА БАЗА С ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ДВИГАТЕЛЯ НА СТРОИТЕЛНАТА МАШИНА ПО ОТНОШЕНИЕ НА ОТДЕЛЯНИТЕ ВРЕДНИ ЕМИСИИ

Нетната (чиста) мощност на двигателя на строителната машина обикновено бива задавана в екологичната декларация на продукт съобразно изискванията на ISO 9249:2007 [2] и SAE J1349 [3]. В тези стандарти са указани методите за тестване и определяне на нетната мощност на бутални двигатели с вътрешно горене, които са предназначени за строителни машини.

Съгласно изискванията на европейското законодателство, двигателят на машината трябва да бъде сертифициран, по отношение на нивото на отделяните от него емисии, чрез извършване на официални изпитания (тестове) в съответствие със:

- Европейска директива 97/68/ЕС [4] и Европейски регламент 2016/1628 [5];
- двигателят на машината, съгласно изискванията на САЩ, трябва да бъде сертифициран чрез извършване на официални изпитания (тестове) в съответствие с Американските норми [6].

Сравнение на допустимите нива на вредни емисии от двигатели на строителни машини е представено в Таблица 1.

Таблица 1. Допустими нива на вредни емисии от двигатели на строителни машини

Нормативен документ	Мощностен диапазон на машината [kW]	Допустимо ниво на азотни окиси – Nox [g/kW.h]	Допустимо ниво на въглеродород – HC [g/kW.h]	Допустимо ниво на прахообр. частици – PM [g/kW.h]	Допустимо ниво на въглеродни окиси – CO [g/kW.h]	Допустим брой на твърди частици – PN [бр/kW.h]
Европейски регламент 2016/1628, Раздел V	56-130kW	0.4	0.19	0.015	5.0	1x10 ¹²
	130-560kW	0.4	0.19	0.015	3.5	1x10 ¹²
Американска норма US EPA Tier 4f +	56 - 130kW	0.4	0.19	0.02	5.0	-
	130-	0.4	0.19	0.02	3.5	-

CARB	560kW					
------	-------	--	--	--	--	--

Отделяните емисии изгорели газове от машината се измерват в „специфични емисии“ в съответствие със [7] и [8], за „цикъл С1“, както и за „извънпътен преходен цикъл (NRTC)“. Практиката е да бъдат формирани т.нар. „групи“ (фамилии) от еднотипни двигатели, които имат един и същ дизайн или са произведени по подобни технологии. В една „група“ (фамилия) от еднотипни двигатели обикновено бива сертифициран само един „двигател-типопредставител“ (т.нар. „parent engine“). За „двигател-типопредставител“ се избира този двигател от групата, който има най-голямо количество подавано (изгаряно) гориво при максимален въртящ момент. След това всички законови изисквания по отношение на ограничаване на вредните емисии биват предявявани само и единствено към установения „двигател-типопредставител“.

3. ФАКТОРИ НА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА СТРОИТЕЛНИТЕ МАШИНИ

Факторите за устойчиво развитие на строителните машини са зададени в ISO 10987:2012 [9] (представени в Таблица 2), и могат да се използват за постигане на устойчив и оптимален баланс между екологични, социални и икономически показатели по време на полезния срок на ползване на строителната машина, а също така и след края на нейният срок на полезна употреба. Съгласно [9] предварителните изчисления, които са извършени с приемането на тези фактори за устойчиво развитие, могат да се използват като ценна входна информация за етапите на проектиране/разработване на технологията за работа с машината, както и на етапа на нейната експлоатация в конкретни условия на работа. Енергоефективността в процеса на експлоатация на машината, както и факторите от парниковите газове, е най-добре да бъдат оценявани за реалните условия на експлоатация на машината, или на стадия на проектиране/разработване на технологията за работа с машината, при случаите когато общото количество изразходвана енергия може да бъде измерено спрямо общото количество извършена работа от машината [9].

Таблица 2. Фактори на устойчиво развитие за земекопни машини

Наименование на фактор на устойчиво развитие	Аспект на устойчиво развитие	Кратко описание на измерителя	Предоставяна информация или препратка към документи
Енергоефективност на машината в процеса на експлоатация	Екологични / Икономически	Работата, която машината изпълнява на обекта на строителството, отнесена към количеството на изразходваната енергия/ изразходваната топлина	Тези данни се получават на база предварителен разчет на отношението на извършената работа от машината, отнесено към единица енергия
Емисии на парникови газове (ПГ) в процеса на експлоатация	Екологични	Емисии на парникови газове в процеса на експлоатация, отнесени към обема на извършената работа, определени към „еквивалентен CO ₂ “	Тези данни се получават на база предварителен разчет на килограмите отделен „еквивалентен CO ₂ “, който се извършва още на етапа на проектиране на технологията на конкретния строителен обект
Поддържане на	Екологични /	Информация и обучение,	Тази информация се

продукта/ машината за повишаване на ефективността и качеството на използване на машината	Икономически	с цел повишаване на ефективността на използване на машината, в зависимост от нейните възможности	получава от производителя и се използва с цел повишаване на ефективността и качеството на използване на машината
Качествен състав на емисиите в атмосферата	Екологични	Ниво на отделяните емисии от двигателя	Клас на екологичност на двигателя, такъв като: Tier или Euro. Този „клас на двигателя“ указва максималното ниво на отделяните емисии от двигателя като: азотен оксид(NOx); въглеродород (HC), въглероден оксид (CO) и твърди частици (ТЧ)
Повторно използване на материала от машината, рециклируемост и регенерация	Икономически	Част/дял от машината, годна за повторно използване, Част/дял от машината, годна за рециклиране, регенерация	Дава се в процентно отношение към масата на машината, съгласно ISO 16714
Безопасност	Социален/ Икономически	Удовлетворяване на изискванията на международните стандарти по безопасност на земекопни машини	Списък със стандарти по безопасност, на които конкретната машина трябва да отговаря, като например: ISO 20474
Шум и вибрация	Социален / Екологични	Ниво на шум от машината	По шумови характеристика A в децибели (dB) в съответствие с ISO 6393, ISO 6394, ISO 6395 и ISO 6396
		Ниво на вибрации в машината	Метри в секунди на квадрат (m/s ²) — виж. ISO/TR 25398 (за общите вибрации) и ISO 5349-2 (за локалните вибрации)
Показатели на общите разходи в течение на полезния срок на ползване	Икономически	Направените разходи за придобиване и експлоатация на машината, отнесени към производителността на машината по време на целия ѝ жизнен цикъл	Информация за икономически показатели, които подпомагат потребителя, за да може да извърши предварителен разчет на разходите по време на целия полезен срок на ползване на машината

Поради голямото разнообразие и различните видове изпълнявани работи от машината (например: конкретно приложение, квалификация на оператора или специфични особености на обработвания участък), използването на оценъчни показатели в „количество използвана енергия/топлина“ обикновено в повечето случаи се явяват недостатъчно точни, за да бъдат сравнявани машини от различни модели и типоразмери.

4. МЯСТО НА ЕКОЛОГИЧНИТЕ ДЕКЛАРАЦИИ НА ПРОДУКТИ (ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATIONS – EPDs) ЗА СТРОИТЕЛНИ МАШИНИ В ОБЩИЯ КОНТЕКСТ НА УСТОЙЧИВО СТРОИТЕЛСТВО

Производството и сглобяването на строителните машини се извършва в производствените цехове на фирмите-производители. Оттук е ясно, че всички производствени цехове, както при всеки друг произвеждан продукт, трябва да са сертифицирани в съответствие с ISO 14001 “Система за управление на околната среда” [12]. За процеса на проектиране на една строителна машина, както и за етапа на нейното производство, могат да се приемат общите принципи за оценяване на продукти по отношение на устойчивото развитие, указани в ISO 14040 [13] и ISO 14044 [14]. Въпросите, свързани с използването на рециклируеми, регенерируеми и/или подлежащи на повторна употреба материали в конструкцията на строителните машини, се разглеждат в ISO 16714 [11].

Далеч по-важни и интересни обаче се явяват въпросите, свързани с третирането на екологичния отпечатък от работата на строителните машини (на етапа на тяхната експлоатация) върху общите екологични въздействия на сградата, тъй като екологичните декларации за строителни машини могат да се използват при оценката на жизнения цикъл на сградата. Съгласно БДС EN 15804 [15] за анализа на различните етапи от жизнения цикъл на продукта се използват т. нар. “информационни модули” (A1-A5, B1-B7, -C4 и D). Конкретното влияние на екологичния отпечатък от строителната машина върху този на сградата се разглежда в модули A4 (процес на транспорт на ресурсите (материали, хора, машини и др.) до строителната площадка) и A5 (процес на строителство). Модул A5 се явява особено важен, тъй като именно в него се разглежда екологичният отпечатък от изпълнението на строителните работи, извършвани на строителната площадка. За модул A5 екологичният отпечатък от работата на строителните машини (на етапа на тяхната експлоатация) върху сградата би могъл да се изчисли чрез използване на следната зависимост:

$$\text{Machinery (j)}_{EF_i} = EF_1 * \frac{t_i}{T} + EF_2 * \frac{t_i}{T} + EF_3 * \frac{t_i}{T} + EF_{4_i}(t_i), [\text{gha/year}]$$

Където Machinery (j)_{EF_i}[gha/year] е екологичният отпечатък от строителната машина “j” върху построяването на сградата „i“;

T[машиночаса] - общият експлоатационен ресурс на машината (в машиночасове), който е предварително заложен от нейния производител;

t_i - е частта от време от общия експлоатационен ресурс на машината (в машиночасове), което се предвижда да бъде изразходено за построяването на конкретната сграда „i“;

EF₁[gha/year] - екологичният отпечатък, генериран в процеса на производството на машината в завода-производител;

EF₂[gha/year] - екологичният отпечатък, генериран по време на ремонта и поддръжката на машината по време на целия ѝ полезен срок на експлоатация;

EF₃[gha/year] - екологичният отпечатък, генериран в процеса на изваждането на машината от употреба, след нейния полезен срок на експлоатация;

EF_{4_i}[gha/year]- екологичният отпечатък, генериран по време на наработката на машината при изграждането на конкретната сграда „i“ (т.е. за t_i [машиночаса]). При строителните машини,

задвижвани от двигатели с вътрешно горене, този екологичен отпечатък се явява генериран основно вследствие на изразходеното гориво за съответното време на работка;

5. ВЪЗМОЖНИ МЕРКИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ЕКОЛОГИЧНИЯ ОТПЕЧАТЪК ОТ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА СТРОИТЕЛНИТЕ МАШИНИ

5.1. Разработване и пускане на пазара на строителни машини, отделящи по-малко вредни емисии в атмосферата

Основната мярка в тази насока си остава конструирането и продажбата само на строителни машини, оборудвани с двигатели, съобразени с изискванията за нива на вредни емисии съгласно „US EPA Tier - Interim Emission Standards and Regulations“ и/или Директива 97/68/EC [4]. В тази насока е постигнат един значителен темп за намаляване на нивата на изхвърляните вредни емисии от строителните машини (например: само за периода: 1998-2012 намаляването е с около 75%);

5.2. Монтиране на филтри и катализатори на изпускателната система на строителната машина

Целта на катализатора е да преобразува вредните за околната среда отработени газове, получени при цикъла изгаряне в двигателя, в по-безвредни вещества. За по-старите строителни машини единствено монтирането на ефективни филтри за твърди частици се явява предпазната мярка, която би могла да ги намали до задоволително ниво. Тези „изглеждащи остарели мерки“ се явяват не само абсолютно необходими, но е доказано също че те се явяват технически и икономически постижими и оправдани.

5.3. Търсене на иновативни начини за подобряване на изгарянето на горивото и на пътища за използване на повече рециклируеми, регенеруеми и/или подлежащи на повторна употреба материали в конструкцията на строителните машини

При част от багерите вече е постигнато намаляване с около 10% на отделяните емисии въглероден диоксид CO₂ (например: багер PC/138US-10 и др), което е свързано с постигнатата по-добра ефективност на изгаряне на горивото в двигателите. При използване на „хибридни двигатели“ (hybrid vehicles) се постига значително намаляване на отделяните емисии въглероден диоксид – например при багер HB205-1M0 е постигнато намаляване с около 25%. Една бъдеща по-дългосрочна перспектива е използването на биодизелово гориво за строителните машини, което обаче все още не намира достатъчно приложение в практиката.

Стремежът по отношение на използването на повече рециклируеми или подлежащи на повторна употреба материали е към постигане на високи нива на рециклиране от порядъка на над 95% за новите поколения модерна строителна техника, съобразено с [11].

5.4. Организационни мерки и налагане на все по-стриктен контрол върху изхвърляните вредни емисии от използването на строителните машини, за да се отговори на високите изисквания на съвременните стандарти и норми

Мерките за намаляване на вредните емисии от работата на строителните машини включват използване на ефективни системи за контрол, както и провеждане на специални проучвания за установяване и управление на количествата изхвърляни вредни емисии породени от работата на строителните машини. Градските общини също имат правомощията да установяват допустими граници и да налагат ограничения по отношение на вредните емисии от строителната техника в градска среда, както и да следят за тяхното спазване. Това важи особено за строителни площадки, при които инвеститор и възложител се явява именно общината. Пример за това са предприетите мерки в много от градовете на западноевропейските държави: Германия, Швейцария и др. От друга страна, на регионално и/или на национално ниво би могло да се стигне до обособяване на т.нар. „зони с ниска концентрация на замърсители“ (low-emission zones), в които да бъдат наложени по-стриктни изисквания, не само за автомобилите, но също и за строителната техника, оперираща на съответната територия.

Други възможни мерки са въвеждането на подходяща маркировка/стикери за строителните машини, обозначаваща тяхното ниво на екологичност, както и включване на специални условия и екологични изисквания към изпълнителите на държавните и обществените поръчки, специални строителни планове, планове за развитие и контролиране на качеството и чистотата на въздуха и т.н.;

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В съвременното строителство се използва голямо разнообразие от строителни машини и е редно да се обърне внимание на въпросите, свързани с екологичните въздействия от тяхната работа.

В настоящата разработка е извършено едно детайлно проучване по отношение на екологичния отпечатък от работата на строителните машини. Разгледани са важни въпроси, свързани с мощностните данни и нормативната база с изисквания към двигателите на строителните машини по отношение на отделяните вредни емисии и различните видове аспекти на устойчиво развитие на строителните машини. Дискутирана е и ролята на екологичните декларации на продукти за строителни машини в общия процес на оценяване на жизнения цикъл и сертифицирането на “зелени“ сгради. Изведена е и е предложена математическа зависимост за изчисляване на екологичния отпечатък от работата на строителните машини (на етапа на тяхната експлоатация) върху изграждането на конкретна сграда. Обобщени са и възможните мерки за намаляване на екологичния отпечатък от използването на строителните машини.

Въз основа на гореизложеното могат да се формулират три основни препоръки към производителите на строителна техника: гарантирано качество, високо ниво на безопасност и грижа за околната среда. Тези три аспекта би следвало да се отчитат през всички етапи от жизнения цикъл на строителните машини: от процесите на проектиране и производство, през целия им експлоатационен период, както и при дейностите в края на полезния им живот.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Project: Clean Air (Soot Free for the Climate), Guideline Construction Machinery, Version: November 2015;
- [2] ISO 9249:2007 Earth-moving machinery-Engine test code – net power
- [3] SAE J1349 Engine Power Test Code - Spark Ignition and Compression Ignition
- [4] Европейска директива 97/68/ЕС, Раздел IIIВ, за сближаване на законодателствата на държавите-членки във връзка с мерките за ограничаване на емисиите на газообразни и прахообразни замърсители от двигатели с вътрешно горене, инсталирани в извънпътна подвижна техника (включително и внесените изменения към нея съгласно Директива 2010/26/EU на Европейската комисия);
- [5] Европейски регламент 2016/1628 на европейския парламент, Раздел V относно изискванията по отношение на ограничаване емисиите на газообразни и прахообразни замърсители, както и тестовете за доказване на типа на двигатели с вътрешно горене, инсталирани в извънпътна подвижна техника;
- [6] US EPA Tier4f and CARB US EPA;
- [7] ISO 8178-1:2017 Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement-Part 1: Test-bed measurement systems of gaseous and particulate emissions
- [8] ISO 8178-4:2017 Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement-Part 4: Steady-state and transient test cycles for different engine applications
- [9] ISO 10987:2012 Earth-moving machinery - Sustainability - Terminology, sustainability factors and reporting
- [10] ISO 20474 (all parts) Earth-moving machinery – Safety
- [11] ISO 16714 Earth-moving machinery - Recyclability and recoverability - Terminology and calculation method
- [12] ISO 14001 Environmental management
- [13] ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- [14] ISO 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and Guidelines
- [15] БДС EN 15804 Устойчиво строителство - Екологични продуктови декларации – Ключови правила за определяне на категорията на строителните продукти
- [16] ISO/TR 25398 Earth-moving machinery — Guidelines for assessment of exposure to whole-body vibration of ride-on machines — Use of harmonized data measured by international institutes, organizations and manufacturers
- [17] ISO 5349-2 Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace
- [18] ISO 6393 Earth-moving machinery - Determination of sound power level - Stationary test conditions
- [19] ISO 6394 Earth-moving machinery - Determination of emission sound pressure level at operator's position - Stationary test conditions
- [20] ISO 6395 Earth-moving machinery - Determination of sound power level - Dynamic test conditions
- [21] ISO 6396 Earth-moving machinery - Determination of emission sound pressure level at operator's position - Dynamic test conditions