

УДК 621.43

ТЕНДЕНЦИИ ФОРСИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАРУБЕЖНЫХ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Стефановский А.Б., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-04-42

Аннотация – на основе информации ряда зарубежных дизелестроительных фирм о современных моделях неавтомобильных дизелей, выявлены характерные значения их литровой мощности.

Ключевые слова - фирма, тракторный дизель, эффективная мощность, литровая мощность, отработавшие газы.

Постановка проблемы. Современное дизелестроение характеризуется тенденцией к повышению удельных мощностных показателей при ограничении роста удельного расхода топлива и снижении токсичности отработавших газов (ОГ). За последние годы произошло значительное ужесточение зарубежных норм на содержание вредных веществ в ОГ дизелей, в том числе тракторных, и появилась тенденция к ограничению удельного расхода топлива (для снижения выбросов углекислого газа).

Анализ последних исследований. Поскольку украинские сельскохозяйственные предприятия, хотя в небольшом количестве, но покупают новые модели тракторов и комбайнов у дилеров зарубежных фирм, то информация об особенностях конструкций современных моделей зарубежных тракторных дизелей полезна для отечественных технических специалистов. Эта информация, например, содержится в публикациях сотрудников зарубежных дизелестроительных фирм в журнале *Industrial Vehicle Technology International* (далее сокращенно IVTI), издаваемом британской фирмой UKiP Media & Events Ltd[1,2,3]

Цель работы – проанализировать уровни форсирования современных моделей зарубежных неавтомобильных (в частности, тракторных) дизелей, по данным выпусков журнала IVTI за 2010 г. и других источников.

Основная часть. Фирма John Deere Power Systems (JDPS) в 2010 г. предлагает обновленное семейство тракторных дизелей PowerTech,

модификации которых охватывают диапазон эффективной мощности $N_{\text{ен}} = 56 \dots 448$ кВт [1; 2]. При рабочем объеме этих рядных 4- и 6-цилиндровых дизелей 4,5...13,5 л, их литровая мощность $N_{\text{ел}}$ достигает 29...33 кВт/л. В свою очередь, она получена благодаря применению регулируемого турбонаддува; вместе с рециркуляцией охлажденных ОГ, он применяется на тракторных дизелях John Deere с 2005 г. Эти модели дизелей обозначаются буквами PWX, PVX, PSX по возрастанию мощности. Кроме того, с 2007 г. выпускаются менее мощные и форсированные дизели моделей M и E ($N_{\text{ен}} = 36 \dots 49$ кВт; $N_{\text{ел}}$ до 20 кВт/л) с рабочим объемом 2,4 л, снабженные нерегулируемым турбонаддувом.

Как утверждает представитель фирмы JDPS Дж. Пясецки [1], все новые модели тракторных дизелей выполняют нормы на содержание вредных веществ в ОГ, вступающие в силу 01.01. 2011 г. и 01.01. 2012 г., соответственно, для дизелей с $N_{\text{ен}} \geq 130$ кВт и $N_{\text{ен}} = 56 \dots 129$ кВт. Отличие этих норм от предыдущих состоит в том, что допустимый выброс частиц снижен на 90%, а оксидов азота NO_x – на 50%. Ограничение выброса NO_x достигается у всех моделей дизелей за счет применения рециркуляции охлажденных ОГ. Для существенного снижения выброса частиц с ОГ, в системах выпуска дизелей John Deere вместо глушителей устанавливаются фильтры. Они требуют периодической очистки (регенерации), которая достигается с помощью специальной «дозировочной системы», воздействующей либо на рабочий процесс дизеля (при $N_{\text{ен}} < 130$ кВт), либо непосредственно на фильтр.

К особенностям конструкции тракторных дизелей PowerTech PWX, PVX и PSX относятся четыре клапана на цилиндр, открытые камеры сгорания в поршнях, регулируемый турбонаддув (двухступенчатый у PSX), воздушное охлаждение наддувочного воздуха (ОНВ), электронная система управления (ЭСУ). Эти дизели могут работать на топливных смесях с добавкой биотоплив.

Менее мощные дизели PowerTech E имеют два клапана на цилиндр, нерегулируемый турбонаддув, воздушное ОНВ, ЭСУ и автоматизированными топливными насос-форсунками. Более проста конструкция дизелей PowerTech M, снабженных механическими топливными насос-форсунками и не имеющих ЭСУ. Эти модели не снабжены рециркуляцией охлажденных ОГ и фильтрами для очистки ОГ от частиц, так как соответствуют менее жестким нормам на содержание вредных веществ в ОГ, еще действующим ближайшие годы.

Немецкая дизелестроительная фирма MTU Friedrichshafen GmbH (далее MTU) в 2010 г. продемонстрировала модели 6- и 12-цилиндровых дизелей (обозначенных соответственно 1500 и 1600),

уже выполняющих перспективные нормы на содержание вредных веществ в ОГ, действующие с 2014 г. [3].

Начиная с 2014 г., новые модели дизелей MTU с рабочим объёмом цилиндра 1,75 л, обозначенные 4R и 6R, заменят на строительных и специальных машинах дизели Mercedes-Benz OM моделей 400, 500 и 900 в диапазоне $N_{ен} < 560$ кВт. По сравнению с предшествующими моделями, новые дизели MTU отличаются повышенным на 20% ресурсом, увеличенной на 5% мощностью, «чрезвычайно низким» расходом топлива и «отличным» крутящим моментом при пониженных оборотах, а также повышенной тормозной мощностью.

Более высокой мощностью (567...730 кВт) отличаются V-образные дизели MTU семейства моделей 1600, имеющие 10 и 12 цилиндров. Однако, как легко видеть, их литровая мощность не превышает 35 кВт/л; по-видимому, это ограничение объясняется необходимостью снизить тепловую напряжённость и риск отказов столь мощных дизелей (и соответствующих мобильных машин).

Высокая мощность и хорошая экономичность новых дизелей MTU объясняются применением на них сложных систем турбонаддува. Кроме того, невысокая требовательность дизелей к качеству топлива обусловлена применением современной аккумуляторной топливной системы «Common Rail», обеспечивающей точное дозирование и очень тонкое распыливание топлива.

Новые модели дизелей MTU снабжены ЭСУ. Как утверждает представитель этой фирмы Г. Крамер [3], данная ЭСУ сможет контролировать обезвреживание ОГ при любых будущих модификациях системы выпуска дизеля модели 1600.

Способы снижения токсичности ОГ различаются у менее и более мощных моделей дизелей MTU. У перспективных моделей с $N_{ен}$ менее 560 кВт используется наиболее сложная технология: рециркуляция ОГ, очистка ОГ от частиц и каталитическое восстановление оксидов азота, причем дополнительные агрегаты смонтированы компактно, вместо обычного глушителя. Начиная с 2011 г., фирма MTU будет оснащать дизели с $N_{ен} < 560$ кВт каталитическим восстановителем NO_x и комбинированным глушителем. Благодаря улучшенному процессу сгорания, в системах выпуска наиболее мощных дизелей MTU не используются фильтры и каталитическое восстановление NO_x , требующее расхода дополнительной жидкости. Вместо этого, используются окислительные нейтрализаторы; рециркуляция ОГ также применяется для снижения окисления азота при сгорании.

Вследствие недостаточности информации в статье [3] о показателях выпускаемых дизелей MTU для сельскохозяйственной техники, дополнительно эти данные найдены на веб-сайте фирмы [4].

В частности, указанная там максимальная величина $N_{ен}$ дизелей семейства 1600 равна 668 кВт, а минимальная (6-цилиндровой модели) 343 кВт. Литровая их мощность близка к 32 кВт/л.

Фирма Cummins (США) использует в своих современных моделях дизелей для тракторов, строительных и специальных машин те же методы снижения токсичности ОГ (рециркуляцию охлажденных ОГ и очистку ОГ от частиц), а также регулируемый турбонаддув, с 2007 г. [5].

В 2011 г. будут выпускаться наиболее мощные модели дизелей QSX с рабочим объемом 11,9 и 15 л, развивающие $N_{ен}$ соответственно до 373 и 447 кВт. Их литровая мощность достигает 30...31 кВт/л. Максимальный крутящий момент, соответственно, составляет около 2,2 и 2,8 кН*м, причём система регулирования двигателя обеспечивает повышение крутящего момента до 50% при частоте вращения ниже номинальной (1800...2100 1/мин). Благодаря улучшению процессов распыливания топлива и сгорания, топливная экономичность дизелей QSX улучшена почти на 5%. Они снабжены фильтрами ОГ и рециркуляцией охлажденных ОГ.

Для менее мощных дизелей ($N_{ен} = 56...129$ кВт) более жёсткие нормы содержания вредных веществ в ОГ будут действовать, начиная с 2012 г. Фирмой Cummins разработаны модели 4- и 6-цилиндровых тракторных дизелей QSB с рабочим объемом 3,3...6,7 л. Дизели QSB3.3 и QSB4.5 развивают мощность соответственно до 82 и 119 кВт, а QSB6.7 – до 224 кВт. (Последняя модель имеет модификации с мощностью до и более 130 кВт, отличающиеся технологией обработки ОГ.) Литровая мощность наиболее мощной модификации дизеля QSB6.7 – более 33 кВт/л. 4-цилиндровые дизели QSB3.3 и QSB4.5 снабжены регулируемым турбонаддувом, рециркуляцией охлажденных ОГ и компактным окислительным нейтрализатором (последний может объединяться с глушителем), и отличаются улучшенной на 5% экономичностью (по сравнению с моделями, выпускавшимися до 2010 г.).

Дизелестроительная фирма Perkins разрабатывает новые модели тракторных и специальных дизелей, тесно сотрудничая с изготовителями соответствующих мобильных машин [6]. Такое взаимодействие приводит одновременно к улучшению параметров мобильной машины и сокращению срока проектирования её силовой установки почти на полгода. Новые конструкции дизелей проходят тщательные эксплуатационные испытания, в том числе при экстремальных условиях. Результаты таких испытаний позволили улучшить качество моделирования силовых установок и оптимизировать технологию обезвреживания ОГ дизелей, имеющих разную мощность и различное назначение. Например, для дизелей

моделей 1204E-E44TA и 1206E-E66TA, имеющих мощность до 130 кВт, разработан необслуживаемый фильтр очистки ОГ от частиц, размещаемый в моторном отсеке трактора вне зоны легкой доступности. На дизелях Perkins не используется каталитическое восстановление NO_x .

Новые модели дизелей Perkins, выполняющие более жёсткие нормы содержания вредных веществ в ОГ, охватывают диапазон мощности от 9 до 225 кВт (табл.1) [6 - 8].

Таблица 1

Параметры тракторных дизелей Perkins (2010 г.)

Обозначения моделей	Эффективная мощность, кВт	Рабочий объём, л	Литровая мощность, кВт/л
1206E-E70TTA	225	7,0	32
1206E-E66TA	129	6,6	20
1204E-E44TA / TTA	110 и 129	4,4	25...29
1106D-E66TA	186	6,6	28
1100 Series (4-цилиндровые)	64...106	4,4	14...24
854E-E34T / TA	55 и 86	3,4	16...25
400 Series (4-цилиндровые)	26...49	1,5 и 2,2	18...22

Мощностные показатели дизелей, перечисленных в табл.1, значительно повышены, по сравнению с моделями прежнего поколения. Так, $N_{\text{ен}}$ 4-цилиндрового дизеля 850 Series повышена на 40% по сравнению с дизелем 800 Series; $N_{\text{ен}}$ дизелей 1204E и 1206E повышена на 23%, а экономичность улучшена на 8% по сравнению с показателями предшественников. К особенностям дизеля 850 Series относятся регулируемый турбонаддув и аккумуляторная топливная система "Common Rail". 6-цилиндровый дизель модели 1206E-E70TTA, литровая мощность которого достигает 32 кВт/л, разработан на базе менее форсированной модели 1206E-E66TA.

4-цилиндровые дизели 400 Series, в отличие от других, предкамерные, со степенью сжатия около 23; модели с $N_{\text{ен}} = 26,5$ и 38 кВт не имеют турбонаддува [7; 8]. Основные технические параметры тракторных и специальных дизелей Perkins из 6 семейств, кроме степени сжатия, представлены в справочном пособии [8]. Три этих семейства (1100A, 1100C, 1100D) в статье [6] не упоминаются, видимо, так как не считаются перспективными.

В статье П. Хилла [9] упоминается 8-цилиндровый дизель TCD 2015 V08 с рабочим объемом 15,9 л, выпускаемый немецкой фирмой Deutz и установленный на 4-осном тракторе AgroXXL 1630. Этот двигатель с мощностью 440 кВт (при 1900 1/мин) развивает максимальный крутящий момент 2,8 кН*м, имеет регулируемый турбонаддув и ОНВ.

Показатели форсирования рассмотренных зарубежных моделей неавтомобильных дизелей были сопоставлены с показателями таких дизелей с турбонаддувом, выпускающихся в России и Беларуси, и комбайнового дизеля СМД-31А (табл. 2) [10–13]. Видно, что их литровая мощность, как правило, не превышает 20 кВт/л. Вследствие применения более простых топливных систем, отсутствия рециркуляции ОГ и очистки ОГ от частиц, эти дизели не выполняют норм содержания вредных веществ в ОГ, выполняемых ранее рассмотренными зарубежными моделями. При нерегулируемом турбонаддуве, запас крутящего момента при снижении частоты вращения не превышает 20-25%. Эти особенности приводят к меньшей требовательности дизелей к уровню технического обслуживания, по сравнению с ранее рассмотренными зарубежными дизелями. Но это преимущество временное, так как в Украине численность зарубежных мобильных машин с высокофорсированными дизелями постепенно возрастает.

Таблица 2

Параметры ряда неавтомобильных дизелей, выпускаемых в России

Обозначения моделей	Эффективная мощность, кВт	Рабочий объем, л	Литровая мощность, кВт/л
850.10; 8501.10*	412; 324*	25,9	16; 12,5
ЯМЗ-238НД5	221	14,9	15
ЯМЗ-236Б-3; ЯМЗ-236НЗ*	184; 169*	11,2	16,5; 15*
8424.10-08	346	17,2	20
8481.10-04, 8486.10-02; 8521.10*	309; 305*	17,2	18
Д-461-51	173	11,2	15,5
Д-442-47; Д-442-24И*	115; 112*	7,43	15,5; 15*
Д260.4-327	154	7,12	22
Д245-06	75	4,75	16
СМД-31А	173	9,55	18

На графике зависимости литровой мощности от номинальной эффективной (рис. 1) видно, что уровень $N_{\text{ел}}$ несколько повышается с

значения эффективной мощности $N_{\text{ен}}$. Однако ограничение рабочего объёма должно компенсироваться повышением давления наддува и цикловой подачи топлива, чтобы сохранить приемлемый крутящий момент дизеля. Поэтому дизели, выпускаемые в странах СНГ, при большем рабочем объёме меньше зависят от совершенства используемых схем турбонаддува.

Выводы. Зарубежные дизелестроительные фирмы предлагают новые модели средне- и высокофорсированных дизелей с неразделёнными камерами сгорания, литровая мощность которых достигает 30...35 кВт/л. Это позволяет либо уменьшить рабочий объём дизеля, размеры и стоимость силовой установки мобильной машины, либо получить весьма высокую агрегатную мощность (как у дизелей MTU 1600) в компактной силовой установке. Благодаря применению регулируемого турбонаддува, рассмотренные дизели имеют запас крутящего момента до 50% при снижении частоты вращения. Почти все рассмотренные зарубежные дизели 4- и 6-цилиндровые, снабжены аккумуляторными топливными системами и электронными системами управления.

Новыми моделями зарубежных неавтомобильных дизелей (JDPS, MTU, Cummins, Perkins) выполняются нормы содержания вредных веществ в ОГ, постепенно вступающие в силу в США и странах Евросоюза, начиная с 2011 г. Это достигнуто, в основном, благодаря применению рециркуляции охлаждённых ОГ и очистке ОГ от частиц. Реже применяются окислительные нейтрализаторы, и ещё реже - каталитическое восстановление оксидов азота, требующее расхода специальной жидкости.

Выпускаемые в странах СНГ тракторные дизели с турбонаддувом отличаются от ранее рассмотренных зарубежных существенно меньшей литровой мощностью (12...22 кВт/л), применением более простых топливных систем, отсутствием средств обезвреживания ОГ. Можно предположить, что их конструкции лучше приспособлены к сложившемуся в этих странах уровню организации и технологии технической эксплуатации мобильных машин.

Литература

1. *Piasecki J. Power ranges / J. Piasecki // IVTI. – 2011. – Off-highway edition. – P. 30–31.*
2. *Turbé-Bion M. Invest for success / M. Turbé-Bion // IVTI. – 2010. – Off-highway edition. – P. 43–44.*
3. *Kramer G. The final frontier / G. Kramer // IVTI. – 2011. – Off-highway edition. – P.32–33.*
4. MTU. Power. Passion. Partnership. Diesel Engines Overview / General Purpose Diesel Engines : [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

www.mtu-online.com/mtu/products/diesel-engines-overview/general-purpose-diesel-engines.

5. *Nendick S.* Stage craft / *S. Nendick* // IVTI. – 2011. – Off-highway edition. – P.34–35.
6. *Levick J.* Opportunity knocks / *J. Levick* // IVTI. – 2011. – Off-highway edition. – P. 39–41.
7. Perkins 400 Series. EPA Tier 4, Interim Tier 4/EU Stage IIIA. The heart of every great machine / Perkins Engines Company Ltd. – 2008. – 5 p.
8. Perkins Industrial Power Selector. 10.2 - 225 kW / Perkins Engines Company Ltd. – 2010. – 2 p.
9. Hill P. 4-4-2 // IVTI. – June 2010. – P.30–36.
10. Yardizel.ru. Двигатели, запчасти, электростанции : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Yardizel.ru.
11. Интернет-магазин "Алтайдизель-регион" : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.altdiesel.ru.
12. Частное предприятие "ТД ММЗ" : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.tdmmz.by/index.php.
13. ФООП Русанов И.В. Двигатели : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : rusanov.uarom.net/product_list/group_211639.

ТЕНДЕНЦІЇ ФОРСУВАННЯ СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ ІНОЗЕМНИХ ТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ

Стефановський О.Б.

Анотація – на базі інформації ряду іноземних дизелебудівних фірм про сучасні моделі неавтомобільних дизелів, встановлено характерні значення їх літрової потужності.

TRENDS IN THE PERFORMANCE OF MODERN MODELS OF FOREIGN TRACTOR DIESEL ENGINES

A.B. Stefanovskiy

Summary

Characteristic values of the diesel engine specific power are found on basis of evidence on modern non-automobile diesel engine models offered by several foreign diesel engine manufacturers.