

УДК 621.436.12

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ ПОВЫШЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ ДО 300 МПА

Калинина Софья Михайловна, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, lyiii2@mail.ru

Абдессемед Сельсабила, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, selsabila.abdessemed@outlook.fr

Дунин Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, a.u.dunin@yandex.ru

Аннотация. Давление впрыскивания топлива – один из основных факторов, влияющих на показатели дизеля. В статье представлены результаты, которые получены при моделировании рабочего процесса двигателя 1ЧН12/13 с применением программного комплекса AVL FIRE для оценки эффекта повышения давления в топливном аккумуляторе до $p_{ак} = 300$ МПа. Результаты показывают, что увеличение $p_{ак}$ повышает интенсивность процесса сгорания. При увеличении давления $p_{ак}$ с 150 до 300 МПа содержание оксидов азота NO_x уменьшилось на 23,2%, а сажи – на 58,1%. Однако NO_x не достигает уровня, соответствующего Евро 6 – 0,4 г/(кВт·ч). Поэтому необходимо использовать рециркуляцию отработавших газов (РОГ) в сочетании со сверхвысоким давлением впрыскивания. При применении степени рециркуляции $R_c = 27\%$ выбросы NO_x соответствуют стандартам Евро 6. Содержание сажи уменьшилось на 55,6%, NO_x – на 93%. Однако, удельный эффективный расход топлива увеличивается на 4,9% при отсутствии РОГ и на 4,7% при $R_c = 27\%$, а индикаторная мощность уменьшилась на 4,3%.

Ключевые слова: дизель, сажа, NO_x , сгорание, давление впрыскивания топлива 300 МПа, рециркуляция отработавших газов.

IMPROVING THE WORKING PROCESS OF A DIESEL ENGINE BY INCREASING THE INJECTION PRESSURE UP TO 300 MPA

Kalinina Sofya M., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, lyiii2@mail.ru

Abdessemed Selsabila, undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, selsabila.abdessemed@outlook.fr

Dunin Andrey Y., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, a.u.dunin@yandex.ru

Abstract. The fuel injection pressure is one of the main factors affecting the performance of a diesel engine. The article presents the results obtained by modeling the working process of the 1CHN12/13 engine using the AVL FIRE software package to evaluate the effect of increasing the pressure in the fuel accumulator up to 300 MPa. The results show that an increase in cancer increases the intensity of the combustion process. With an increase in the pressure of the cancer from 150 to 300 MPa, the content of nitrogen oxides NO_x decreased by 23.2%, and soot-by 58.1%. However, NO_x does not reach the level corresponding to Euro 6-0.4 g/(kW·h). Therefore, it is necessary to use exhaust gas recirculation (EGR) in combination with ultra-high injection pressure. When applying the degree of recirculation $R_c = 27\%$, NO_x emissions comply with Euro 6 standards. The soot content decreased by 55.6%, NO_x -by 93%. However, the brake fuel consumption increases by 4.9% without EGR and by 4.7% at $R_c = 27\%$ and the indicator power decreased by 4.3%.

Key words: diesel engine, soot, NO_x , combustion, fuel injection pressure up to 300 MPa, exhaust gas recirculation.

Введение

Для достижения действующих экологических норм в выпускаемых автомобильных дизелях используют самые современные технологии для снижения содержания дисперсных частиц РМ и оксидов азота NO_x в отработавших газах: повышение давления впрыскивания до сверхвысоких значений [1, 2]; учет и управление волновыми эффектами, связанными с топливоподачей аккумуляторной топливной системой [3]; управление формой характеристики впрыскивания и распределением топлива по зонам камеры сгорания [4]; применение альтернативных топлив из возобновляемых источников [4, 5, 6].

На режиме полной нагрузки мероприятия по снижению NO_x увеличивают РМ и наоборот [7]. Это напрямую связано с увеличением значения степени рециркуляции и давления наддувочного воздуха. В этой связи применение сверхвысоких давлений впрыскивания (300 МПа и более) рассматривается как одно из наиболее значимых мероприятий для повышения доли используемого кислорода даже при очень высокой плотности среды в камере сгорания.

Условия проведения расчетного эксперимента

Для моделирования рабочего процесса дизеля применен программный комплекс AVL Fire, в котором для расчета процесса сгорания применена ECFM-3Z. Эта модель основана на уравнении переноса поверхностной плотности пламени и модели смешения, которая может описывать неоднородное турбулентное предварительно смешанное и диффузионное горение.

Механизм образования NO рассчитывается с использованием классической расширенной схемы Зельдовича. Для расчета сажи применена кинетическая модель.

Задаваемые параметры исследуемого дизеля 1ЧН12/13 приведены в табл. 1. В качестве рабочего режима рассмотрены: частота вращения коленчатого вала 1400 мин⁻¹ и цикловая подача 60 мг.

Таблица 1

Основные параметры дизеля 1ЧН12/13

Диаметр цилиндра D , мм	120 мм
Ход поршня S , мм	130 мм
Степень сжатия	15,4
Количество клапанов	2 впускных 2 выпускных
Расположение форсунки	Центральное
Система охлаждения	Жидкостная
Тип камеры сгорания	Камера Гессельмана
Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна λ	0,288
Температура воздуха на впуске	300 К
Давление воздуха на впуске	0,35 МПа
Температура впрыскивания топлива	330,15 К
Температура головки цилиндров	550,15 К
Температура головки поршня	575,15 К
Угол опережения впрыскивания	17° до ПКВ

Характеристики процесса сгорания

На рисунках 1 и 2 показано изменение давления в цилиндре и скорость тепловыделения при изменении давления впрыскивания

(давления в топливном аккумуляторе $p_{ак}$). Результаты получены без введения рециркуляции отработавших газов.

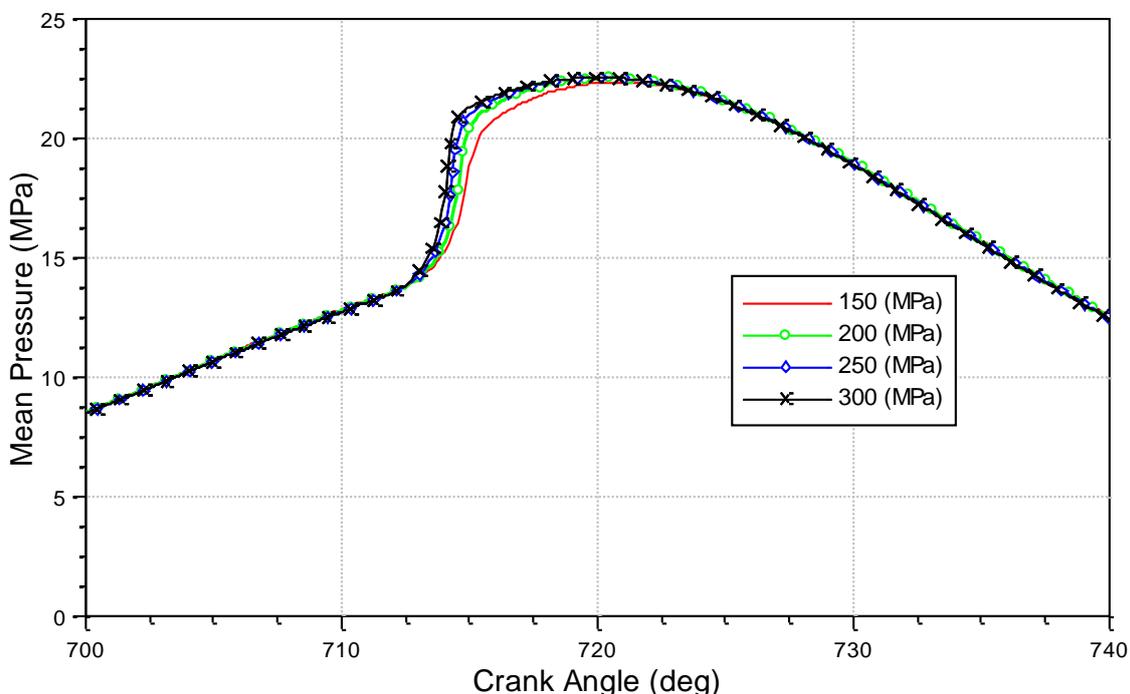


Рис. 1. Влияние давления впрыскивания на индикаторную диаграмму дизеля

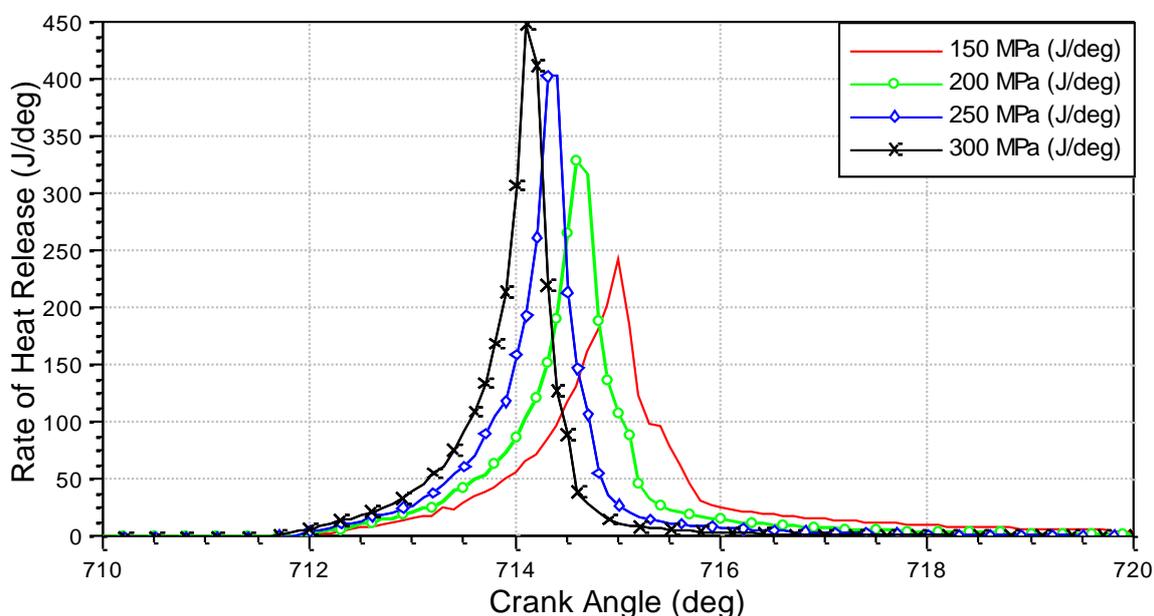


Рис. 2. Влияние давления впрыскивания на скорость тепловыделения

Когда давление впрыскивания топлива увеличивается, среднее давление в камере сгорания увеличивается и достигает максимума в верхней мертвой точке. Это связано с лучшей топливно-воздушной

смесью, поэтому очаги возгорания легко образуются. Сравнивая между давлениями впрыскивания топлива 150 и 300 МПа, давление в камере сгорания увеличилось на 1,22% во время поршня в верхней мертвой точке, а скорость тепловыделения увеличилась с 242,4 до 449,1 Дж/°.

Влияние давления в топливном аккумуляторе и рециркуляции отработавших газов на показатели дизеля

Взаимосвязь между удельным эффективным расходом дизельного топлива, индикаторной мощностью и давлением в топливном аккумуляторе $p_{ак}$ показана на рис. 3.

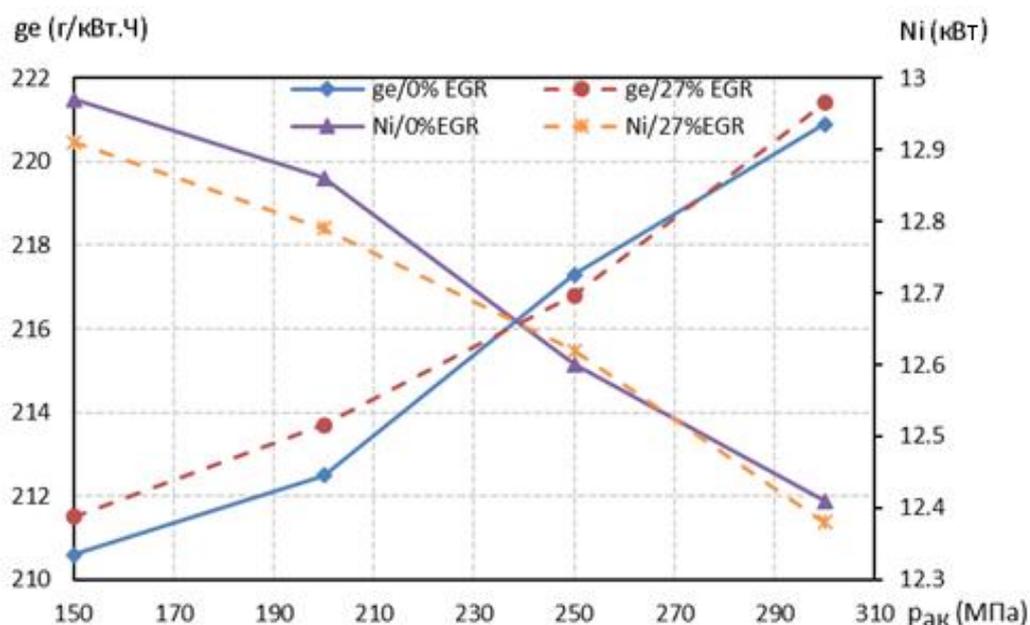


Рис. 3. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля с ростом давления в топливном аккумуляторе и введением рециркуляции

При увеличении давления впрыскивания топлива удельный эффективный расход дизельного топлива также увеличивается, а индикаторная мощность уменьшается. Так удельный эффективный расход дизельного топлива увеличился на 4,9%, а индикаторная мощность уменьшилась на 4,3% при увеличении давления впрыскивания с 150 до 300 МПа.

Рост $p_{ак}$ способствует снижению количества оксидов азота NO_x . Количество NO_x уменьшилось на 23,2%, сажи уменьшилось на 58,1% при переходе от $p_{ак} = 150$ МПа к сверхвысокому $p_{ак} = 300$ МПа. Однако NO_x не достигает уровня выбросов в соответствии со стандартом Евро 6. Поэтому, необходимо использовать рециркуляцию отработавших газов с высоким давлением впрыскивания.

На рисунках 4 и 5 показан уровень выбросов двигателя при изменении количества рециркуляции отработавших газов.

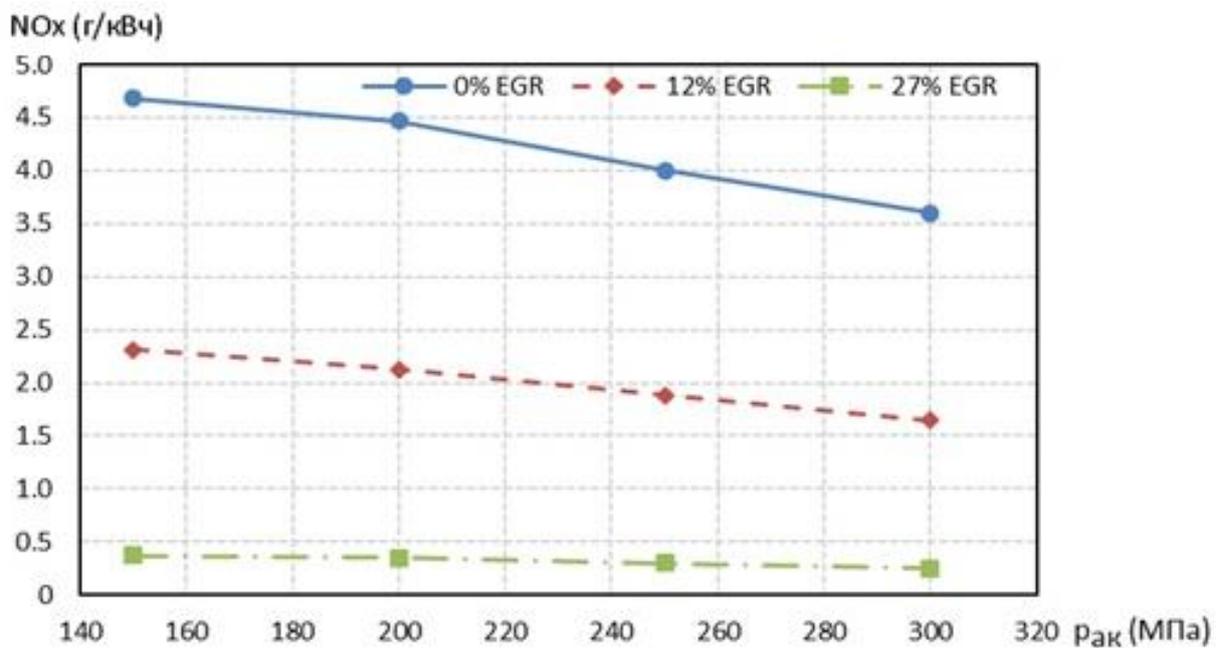


Рис. 4. Изменение оксидов азота с увеличением степени рециркуляции отработавших газов (EGR)

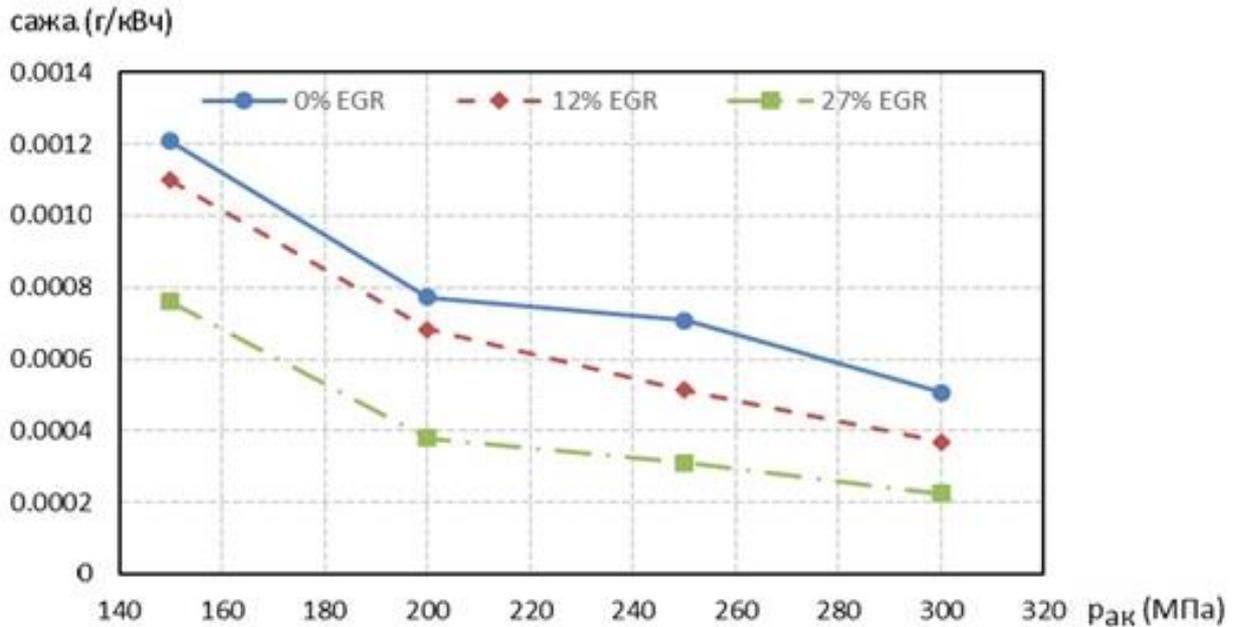


Рис. 5. Изменение содержания сажи с увеличением степени рециркуляции отработавших газов (EGR)

При использовании рециркуляции отработавших газов увеличивается количество инертного газа и уменьшается возможность контакта между кислородом и азотом, что приводит к уменьшению количества NO_x. Результаты показали, что количество сажи уменьшилось на 55,6%, NO_x уменьшилось на 93% при R_c = 27% и тех же условиях давлениях впрыскивания.

Выводы

Исследовано влияние повышения давления впрыскивания топлива на экономические и экологические показатели дизеля с использованием расчетного комплекса AVL Fire. Для достижения уровня выбросов в соответствии со стандартами Евро 6 необходимо сочетать повышение давления впрыскивания топлива с рециркуляцией отработавших газов:

- при увеличении давления впрыскивания топлива с 150 до 300 МПа удельный эффективный расход топлива увеличился на 4,9%, а индикаторная мощность снизилась на 4,3%.
- NO_x и выбросы сажи снижаются на 23,2 и 58,1%, когда нет рециркуляции отработавших газов. Для достижения уровня выбросов Евро

6 требуется $R_c = 27\%$. NO_x снизился на 93%, а сажа уменьшилась на 55,6% при тех же условиях давления впрыскивания 300 МПа.

Список литературы

1. Wloka, J. A. Injection Spray Visualization for 3000bar Diesel Injection / J. A. Wloka, C. Pötsch, G. Wachtmeister // ILASS – Europe 2011, 24th European conference on liquid atomization and spray systems, Estoril, Portugal, September 2011. – 2011. – 10 p.
2. Vera-Tudela, W. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics / W. Vera-Tudela, R. Haefeli, C. Barro, B. Schneider, K. Boulouchos // Fuel. – 2020. – Vol. 275. – P. 117933.
3. Catania, A. E. Parametric study of hydraulic layout effects on common-rail multiple injections / A. E. Catania, A. Ferrari, M. Manno // Fall Technical Conference of the ASME ICED. – 2005. Paper No. ICEF 2005-1288. – P. 1288.
4. Мальчук, В. И. Топливоподача и зональное смесеобразование в дизелях / В. И. Мальчук. – Москва: МАДИ, 2009. – 176 с.
5. Дунин, А.Ю. Совершенствование системы совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через одну форсунку / А.Ю. Дунин: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 – М., 2006.
6. Дунин, А.Ю. Влияние состава топлива на основе масел растительного происхождения на режим работы электрогидравлической форсунки / А.Ю. Дунин, Е.В. Горбачевский, П.В. Душкин, Л.Н. Голубков, И.Е. Иванов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 4(58). – С. 48-58.
7. Алексеев, И.В. Двигатели автотракторной техники: учебник / И.В. Алексеев, К.А. Морозов, Ю.В. Горшков, С.А. Пришвин, В.В. Синявский, А.Ю. Дунин, А.Л. Яковенко, С.Д. Скорodelов, М.Г. Шатров; под. ред. М.Г. Шатрова. – М.: КНОРУС, 2016. – 400 с.

References

1. Wloka J. A., Pötsch C., Wachtmeister G. Injection Spray Visualization for 3000bar Diesel Injection // ILASS – Europe 2011, 24th European conference on liquid atomization and spray systems, Estoril, Portugal, September 2011. – 2011. – 10 p.
2. Vera-Tudela W., Haefeli R., Barro C., Schneider B., Boulouchos K. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics // Fuel. – 2020. – Vol. 275. – pp. 117933.
3. Catania A.E., Ferrari A., Manno M. Parametric study of hydraulic layout effects on common-rail multiple injections // Fall Technical Conference of the ASME ICED. – 2005. Paper No. ICEF 2005-1288. – pp. 1288.

4. Malchuk V.I. *Toplivopodacha i zonal'noe smeseobrazovanie v dizelyax* (Fuel supply and zonal mixing in diesel engines), Moscow, MADI, 2009, 176 p.
5. Dunin A.Y. *Sovershenstvovanie sistemy` sovместной podachi dvux topliv v kameru sgoraniya dizelya cherez odnu forsunku* (Improvement of the system of joint supply of two fuels to the diesel combustion chamber through one nozzle), PhD thesis, Moscow, MADI, 2006, 196 p.
6. Dunin A.Y., Gorbachevsky E.V., Dushkin P.V., Golubkov L.N., Ivanov I.E. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2017, no. 4(58), pp. 48-58.
7. Alekseev I.V., Morozov K.A., Gorshkov Y.V., Prishvin S.A., Sinyavsky V.V., Dunin A.Y., Yakovenko A.L., Skorodelov S.D., Shatrov M.G. *Dvigateli avtotraktorной texniki* (Engines of automotive equipment), Moscow, KNORUS, 2016, 400 p.

Рецензент: А.Л. Яковенко, канд. техн. наук, доц., МАДИ