

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОТРАКТОРНОГО  
ДИЗЕЛЯ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТУРБОКОМПРЕСОРОМ

Самойленко Д.Є., кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Батюк М.В., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF AUTOTRACTOR DIESEL  
WITH VARIABLE GEOMETRY TURBOCHARGER

Samoilenko D.E., Ph.D, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Batuk M.V., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМ ТУРБОКОМПРЕССОРОМ

Самойленко Д.Е., кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Батюк М.В., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

**Постановка проблеми**

Робота транспортного двигуна характеризується великою кількістю перехідних режимів роботи. При цьому, у ДВЗ з вільним турбокомпресором (ТКР) характеристики поршневого двигуна і лопаткової машини погоджені лише на певних режимах, доля яких в експлуатації не перевищує 15 %. Зміна режиму роботи двигуна призводить до неузгодженість характеристик поршневого ДВЗ і вільного ТКР, що спричиняє погіршення показників екологічності, економічності і прийомистості силової установки [1].

Теорія і практика свідчать про те, що регулювання поршневої частини і системи турбонадува дозволяє значно поліпшити техніко-економічні характеристики двигуна в усьому діапазоні експлуатаційних режимів його роботи.

Можна виділити два конкуруючі способи управління потоком газу через турбіну: соплове регулювання в конструкціях турбін з сопловим апаратом і регулювання в конструкціях ТКР з безлопатковими направляючими апаратами – за рахунок зміни площі ефективного прохідного перерізу равлика турбіни.

Ефективність соплового регулювання і його вплив на показники робочого процесу достатньо вивчені, проте основним недоліком цього методу є висока вартість таких ТКР, яка обумовлена наявністю складного і малонадійного механізму повороту соплових лопаток. Регулювання ж в ТКР з безлопатковим направляючим апаратом (БНА) є конструктивно простішим має меншу вартість, надійніше порівняно за соплове регулюванням ТКР.

**Мета дослідження** – порівняльна оцінка ефективності соплового регулювання і регулювання турбіни ТКР з БНА при роботі дизеля за зовнішньою швидкісною характеристикою. Вибір закону регулювання турбокомпресора з БНА автотракторного дизеля, що забезпечує зниження питомої ефективної витрати палива і мінімальну токсичність відпрацьованих газів (ВГ).

**Об'єкт дослідження** – показники економічності та екологічності автотракторних дизелів 4ЧН12/14 та 6ЧН13/11,5, але оцінки ефективності регулювання ТКР та вибору оптимального алгоритму такого регулювання.

**Методика** – аналіз даних щодо розрахункового моделювання спільної роботи ДВЗ з різними типами регулювання турбін ТКР на дизелі типу 4ЧН12/14, а також результатів експериментальних досліджень макетного зразка регульованого ТКР з безлопатковим направляючим апаратом на дизелі 6ЧН13/11,5 з напівімпульсною системою наддуву.

Результати розрахункового моделювання спільної роботи ДВЗ з різними типами регулювання турбін ТКР, а також результати експериментальних досліджень макетного зразка регульованого ТКР

з безлопатковим направляючим апаратом на 4-х циліндрових ДВЗ з ізобарною системою наддуву і 6-ти циліндровому двигуні з напівімпульсною системою наддуву, були представлені в працях [2-6].

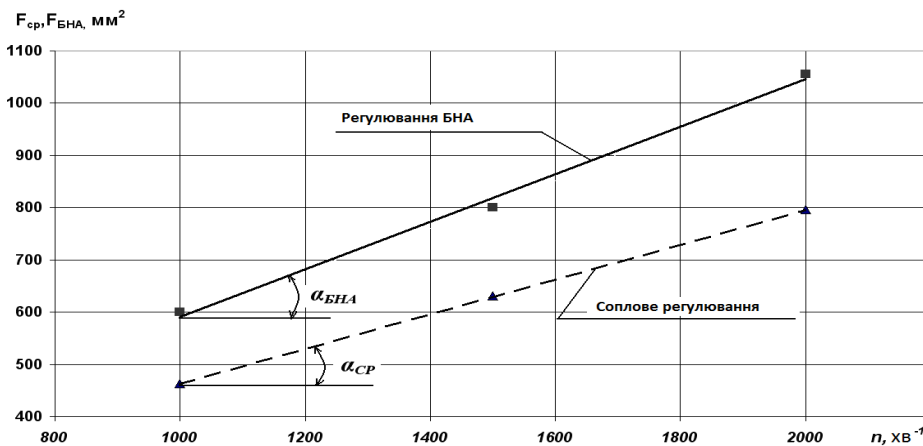
### Результати досліджень

Розрахункові дослідження соплового регулювання ТКР та регулювання турбокомпресора з БНА. Порівняння за кутом нахилу кривої, що описує алгоритм регулювання турбіни ТКР.

За результатами розрахункових досліджень були отримані раціональні алгоритми управління елементом регулювання – перерізами кінця розгінної ділянки БНА, при яких забезпечувався мінімальне значення  $g_e$  на усіх режимах зовнішньої характеристики. З рис.1 видно, що залежність перерізу БНА і сумарного перерізу соплового апарату від частоти обертання колінчастого вала дизеля описується прямою з різним кутом нахилу. З рис. 1 можна зробити два висновки:

1. Кут нахилу прямої при сопловому регулюванні менший, тому перехід при регулюванні з 1800 до 1400  $\text{хв}^{-1}$  супроводжуватиметься меншою зміною сумарного перерізу соплового апарату. Тобто, соплове регулювання є більш ефективним в порівнянні з регулюванням БНА [7].

2. Ефективність регулюваннями БНА не значно поступається сопловому. Різниця між кутами незначна, складає всього 5 градусів.



$$F_{БНА} = 135,84 + 0,455 \cdot n,$$

$$\alpha_{БНА} = 35 \text{ град}$$

$$F_{ср} = 130,5 + 0,333 \cdot n,$$

$$\alpha_{ср} = 30 \text{ град}.$$

Рисунок 1 – Алгоритм регулювання турбіни ТКР дизеля СМД-23 за зовнішньою характеристикою

### Експериментальні дослідження регульованого ТКР з БНА

Дослідження проводили за навантажувальною та зовнішньою характеристиками дизеля 6ЧН13/11,5 (СМД-62) у базовій комплектації, на якому послідовно встановлювали серійний ТКР-8,5ТВ-02 і ТКР що досліджували. Обмежувальним параметром була максимально допустима температура ВГ дизеля 660 °С.

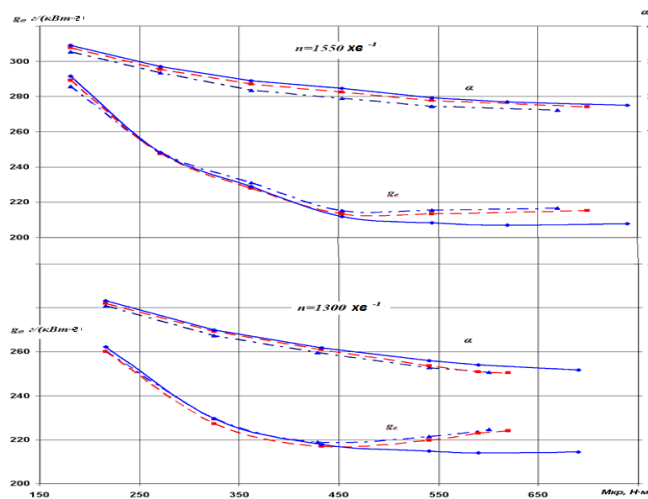
Екологічні показники дизеля оцінювали емісією оксидів азоту ( $NO_x$ ) і монооксиду вуглецю ( $CO$ ), а також оптичною щільністю ВГ (N).

Визначення оптичної щільності відпрацьованих газів, проводили відповідно методиці Правил ЕЭК ООН №24.03 з використанням узагальненої емпіричної залежності, що дозволяє визначити N при різних частотах обертання колінчастого вала ( $n$ ) за відомих значень коефіцієнта надлишку повітря ( $\alpha$ ).

Величина прохідного перерізу в турбокомпресорах з БНА в одному і тому ж режимі роботи дизеля дозволяє змінювати величину тиску наддуву, відповідно і  $\alpha$  [8].

Як бачимо з графіків (рис. 2), на режимах малих навантажень при частотах обертання колінчастого вала, що відповідають режиму максимального моменту  $n = 1550$  і  $1300 \text{ хв}^{-1}$ , максимальне розкриття перерізу  $F_c$  дозволяє зменшити питому ефективну витрату палива ( $g_e$ ) від 3 до 10 г/ (кВт·год). Зі збільшенням навантаження, вигаш в  $g_e$  зменшується. Досягши межі нечутливості до регулювання, має місце зворотна тенденція – зменшення  $F_c$  приводить до зниження питомої ефективної витрати палива.

При роботі дизеля за зовнішньою характеристикою, з точки зору мінімального  $g_e$ , вигідно максимально зменшувати прохідний переріз равлика (рис. 3). Виключення складає номінальний режим роботи дизеля, на якому величина перерізу  $F_c$ , що забезпечується як серійним, так і регульованим ТКР не робить впливу на питому ефективну витрату палива.



—■— переріз  $F_c$  для серійного ТКР; —◆— мінімальний  $F_c$ ; —▲— максимальний  $F_c$ .

Рисунок 2 – Навантажувальні характеристики дизеля при  $n = 1300$  і  $1550$  хв<sup>-1</sup>

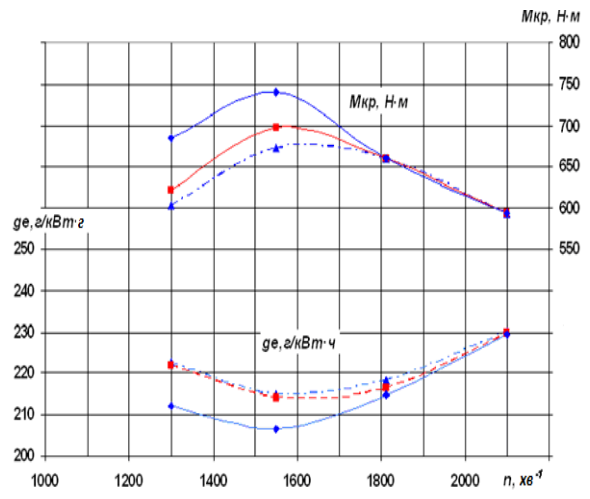


Рисунок 3 – Зовнішня швидкісна характеристика дизеля СМД-62

У табл. 1 наведені значення оптичної щільності ВГ досліджуваного дизеля. При частотах обертання  $n = 1300$  хв<sup>-1</sup> і  $n = 1550$  хв<sup>-1</sup> зовнішньої характеристики вона не перевищує значення норм, встановлених Правилами ЕЭК ООН № 24. Це свідчить про необхідність настройки серійного турбокомпресора, або установки регульованого ТКР.

Таблиця 1. – Значення  $N$  для дизеля з серійним і регульованим турбокомпресорами за зовнішньою швидкісною характеристикою

Режим за зовнішньою характеристикою	Серійний ТКР		Регульований ТКР		Нормована величина $N$ , %
	$\alpha$	$N$ , %	$\alpha$	$N$ , %	
$N_e = 84,7$ кВт, $n = 1300$ хв <sup>-1</sup>	1,51	58	1,74	42	48
$N_e = 113,2$ кВт, $n = 1550$ хв <sup>-1</sup>	1,66	47	1,84	37	45
$N_e = 125$ кВт, $n = 1800$ хв <sup>-1</sup>	1,85	37	2,02	31	43
$N_e = 125,1$ кВт, $n = 2100$ хв <sup>-1</sup>	2,06	34	2,2	27	38

На рис. 4 показано, що за номінальної потужності відбувається збільшення  $\alpha$  з 2,06 (без регулювання) до 2,2 (з регулюванням), практично не впливає на емісію  $NO_x$  і  $CO$ . Але, оскільки оптична щільність ВГ знижується на 7% без погіршення економічності, раціонально забезпечити величину перерізу  $F_c = 1330$  мм<sup>2</sup> з відповідним значенням  $\alpha = 2,2$ .

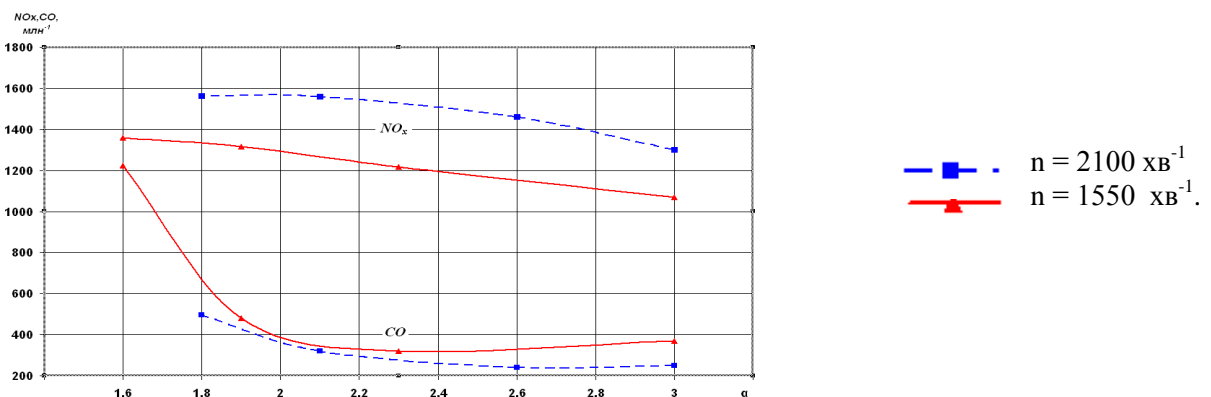
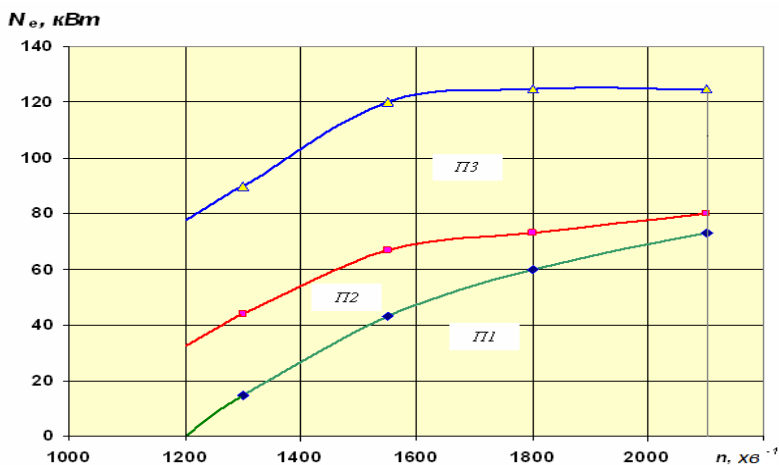


Рисунок 4 – Токсична характеристика ВГ дизеля СМД при  $n = 2100$  і  $1550$  хв<sup>-1</sup>

Для режиму максимального моменту (рис. 4) вибір мінімального перерізу  $F_c$ , істотніше впливає на економічних та екологічних показниках дизеля. Так, збільшення  $\alpha$  з 1,66 до 1,84 приводить до поліпшення економічності на 7 г/(кВт-ч), зменшенню емісії  $NO_x$  на 25 млн<sup>1</sup>,  $CO$  – на 530 млн<sup>1</sup>, зниженню  $N$  на 10 %. Зробили висновок про доцільність зменшення перерізу  $F_c$  зовнішньою швидкісною характеристикою, у тому числі і за номінального режиму включно.

Результати проведених досліджень дозволяють запропонувати 3-х позиційне регулювання турбіни ТКР, представлено графічно на рис 5.

Відповідно до рис. 5, знаходження робочої точки в одній з трьох зон регулювання однозначно визначатиме необхідну величину  $F_c$  регульованого ТКР. Такий підхід буде справедливий для поля характеристик, що знаходяться в діапазоні частот 1000...2100 хв<sup>-1</sup>.



П1 - область регулювання, що відповідає максимально розкритому перерізу БНА ( $F_c = 2360 \text{ мм}^2$ );

П2 - область регулювання, що відповідає серійному перерізу БНА ( $F_c = 2065 \text{ мм}^2$ );

П3 - область регулювання, що відповідає мінімальному перерізу БНА ( $F_c = 1330 \text{ мм}^2$ ).

Рисунок 5 – Закон 3-х позиційного регулювання дизеля типу СМД - 62

### Висновки

Встановлено, що алгоритм регулювання з сопловими лопатками і шляхом зміни площі прохідного перерізу кінця розгінної ділянки турбіни з БНА описується лінійною залежністю. Кут нахилу прямої у ТКР з сопловим регулюванням на 5 градусів менший (30 град), що свідчить про незначну перевагу соплового регулювання порівняно з регулюванням БНА.

На підставі аналізу експериментальних характеристик роботи дизеля, а також оцінки впливу регулювання турбокомпресора на оптична щільність і викиди шкідливих речовин ВГ запропонований закон 3-х позиційного регулювання турбіни ТКР. Застосування регулювання ТКР дозволяє значно поліпшити показники паливної економічності, токсичності і димності автотранспортного дизеля.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крайнюк А.И., Сторгеус Ю.В. Системы газодинамического наддува / Луганск: Восточноукр. гос. ун.-т, 2000. – 224 с.
2. Самойленко Д.Е. Улучшение технико-экономических показателей автотракторного дизеля путем регулирования турбонаддува: Дис. ... к. т. н: 05.05.03. – Харьков, 2008. – 166 с.
3. Марченко А.П., Самойленко Д.Е., Петросянец В.А. Оценка эффективности применения соплового регулирования для наддува 4-х цилиндрового автотракторного дизеля // Вестник науки и техники.– НТУ "ХПИ", ООО "ХДНТ". – Харьков: ООО"ХДНТ". – 2004. Вып. 1(16). – С.42 – 51.
4. Марченко А.П., Парсаданов И.В., Самойленко Д.Е., Петросянец В.А., Михайлик В.Н. Выбор закона регулирования турбины автотранспортного дизеля // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т "ХАИ". – 2005. – Вып.18. – С.54 – 57.
5. Марченко А.П., Петросянец В.А., Самойленко Д.Е. Влияние регулирования турбокомпрессора с безлопаточным направляющим аппаратом на показатели дизеля 4ЧН12/14 // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ"ХПИ". – 2005. – № 1. – С. 35-39.
6. Марченко А.П., Петросянец В.А., Самойленко Д.Е. и др. Улучшение технико-экономических показателей транспортного дизеля путем регулирования турбокомпрессора с безлопаточным направляющим аппаратом // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2004. – № 1. – С. 3-6.

7. Сахаревич В.Д. Оптимизация конструктивных параметров систем воздухообеспечения дизелей по среднеэксплуатационному расходу топлива: автореферат дис. ... докт. техн. наук. – Харьков, 1985. – 56с.

8. Остапенко Г.И. Определение программы регулирования давления наддува тракторного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: Высшая школа, 1985. – Вып. 42. – С. 54 – 59.

#### REFERENCES

1. Kraynyuk AI, Storheus Y. Systems of supercharging / Lugansk: Vostochnoukr . state. un. Avenue , 2000. – 224 p. (Rus)

2. Samojlenko D.E. Improvement techno-economical indicators of tractor diesel with turbocharger. Dis. ... candidate of technical sciences: 05.05.03 . – Kharkov, 2008. – 166 p. (Rus)

3. Marchenko A.P., Samojlenko D.E., Petrosyants V.A. Estimation of effectiveness of application nozzle regulation for supercharged 4 – cylinder tractor diesel // Journal of science and technology. – NTU "KhPI", ООО "HDNT". – Kharkov : ООО " HDNT ." – 2004. – Vol. 1 (16). – P.42 – 51. (Rus)

4. Marchenko A.P., Parsadanov I.V., Samojlenko D.E., Petrosyants V.A., Mikhailik V.N. The choice of law for regulation of turbine of diesel engine // Aerospace technique and technology. – Kharkov National Aerospace university " НАУ ". – 2005. – Iss.18 . – P.54 – 57. (Rus)

5. Marchenko A.P., Petrosyants V.A., Samojlenko D.E.. Effect of adjustment of turbocharger with vaneless turbine volute on characteristics of 4CHN 12/14 diesel engine // Internal combustion engines. – Kharkov : NTU "KPI". – 2005. – № 1. – P. 35–39 . (Rus)

6. Marchenko A.P., Petrosyants V.A., Samojlenko D.E. et al Improvement of techno - economical indicators of diesel vehicle by regulation of turbocharger with vaneless turbine volute // Internal combustion engines . – Kharkov : NTU " KPI ". – 2004. – № 1. – S. 3–6. (Rus)

7. Saharevych V.D. Optimization of design parameters of fuel delivery system under average fuel consumption : Abstract dis. ... Doctor. of sciences. – Kharkov , 1985. – 56 pp. (Rus)

8. Ostapenko G.I. Definition of the program of pressure adjustment for supercharged tractor diesel // Internal combustion engines . –Kharkov : Higher School, 1985. – Vol. 42. – P. 54 – 59. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Самойленко Д.Є. Розрахунково-експериментальні дослідження автотракторного дизеля з регульованим турбокомпресором / Д.Є. Самойленко, М.В. Батюк // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал: в 2 ч. Ч. 1: Серія: „Технічні науки” – К. : НТУ, 2014. – Вип. 13.

Метою даної роботи є порівняльна оцінка ефективності соплового регулювання і регулювання турбіни ТКР з БНА при роботі дизеля за зовнішньою швидкісною характеристикою. Вибір закону регулювання турбокомпресора з БНА автотранспортного дизеля, що забезпечує зниження питомої ефективної витрати палива і мінімальну токсичність ВГ.

Завдання дослідження : провести порівняльну оцінку ефективності соплового регулювання та регулювання ТКР з БНА виходячи з кута нахилу кривої, що описує алгоритм регулювання; на основі даних експериментальних досліджень автотракторного дизеля запропонувати закон регулювання турбіни ТКР з БНА виходячи з умов досягнення найкращих показників економічності та екологічності.

Вивчено вплив соплового регулювання ТКР і регулювання в ТКР з БНА на основні показники робочого процесу дизеля 4ЧН12/14 (СМД- 23) при різних значеннях глибини регулювання. Обрано оптимальний алгоритм регулювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИЗЕЛЬ, ТУРБОКОМПРЕСОР, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ.

#### ABSTRACT

Samoilenko D.E., Batuk M.V. Computational and experimental research of autotractor diesel with variable geometry turbocharger. Management of projects, system analysis and logistics. Science journal: In Part 2. Part 1: Series: "Technical sciences" - Kyiv: NTU, 2014. - Vol. 13.

The purpose of this work is a comparative estimation of the effectiveness of nozzle ring adjustment and adjustment in turbocharger with vane less turbine volute under work of diesel on external characteristic. Choice the algorithm of adjustment for diesel which allows to reduce fuel consumption and exhaust gases toxicity.

Task of the research: a comparative estimation of the effectiveness of these methods on the basis of regulatory angle curve, which describes the algorithm of control; based on experimental studies for tractor diesel engine the algorithm of adjustment for turbine with BNA was offered based on the conditions to achieve the best performance and environmental efficiency.

Effect of nozzle adjustment of TKR and adjustment with vane less turbine volute on the basic parameters of the working process of a diesel 4ChN12/14 ( SMD\_23 ) at different values of the depth of adjustment is subject of investigation. Optimal algorithm of adjustment is offered.

KEY WORDS: DIESEL, TURBOCHARGER, EXHAUST GASES.

#### РЕФЕРАТ

Самойленко Д.Е. Расчётно-экспериментальные исследования автотракторного дизеля с регулируемым турбокомпрессором / Д.Е. Самойленко, М.В. Батюк // Управление проектами, системный анализ и логистика. Научный журнал: в 2 ч. Ч. 1: Серия: „Технические науки” – К. : НТУ, 2014. – Вип. 13.

Целью данной работы является сравнительная оценка эффективности соплового регулирования и регулирования турбины ТКР с БНА при работе дизеля по внешней скоростной характеристике. Выбор закона регулирования турбокомпрессора с БНА автотранспортного дизеля, который обеспечивает снижение удельного эффективного расхода топлива и минимальную токсичность ОГ.

Задачи исследования: провести сравнительную оценку эффективности соплового регулирования и регулирования ТКР с БНА исходя из угла наклона кривой, описывающей алгоритм регулирования; на основе данных экспериментальных исследований автотракторного дизеля предложить закон регулирования турбины ТКР с БНА исходя из условий достижения наилучших показателей экономичности и экологичности.

Изучено влияние соплового регулирования ТКР и регулирования в ТКР с БНА на основные показатели рабочего процесса дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23) при различных значениях глубины регулирования. Выбран оптимальный алгоритм регулирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДИЗЕЛЬ, ТУРБОКОМПРЕССОР, ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ.

#### АВТОРИ:

Самойленко Дмитро Євгенович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: [dimitri.samoilenko@gmail.com](mailto:dimitri.samoilenko@gmail.com)

Батюк Максим Володимирович, студент кафедри двигунів внутрішнього згорання, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: [maks.batyuk@gmail.com](mailto:maks.batyuk@gmail.com)

#### АВТОРЫ

Самойленко Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: [dimitri.samoilenko@gmail.com](mailto:dimitri.samoilenko@gmail.com)

Батюк Максим Владимирович, студент кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: [maks.batyuk@gmail.com](mailto:maks.batyuk@gmail.com)

#### AUTHORS

Samoilenko D.E., Ph.D, senior lecturer of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: [dimitri.samoilenko@gmail.com](mailto:dimitri.samoilenko@gmail.com)

Batuk M.V. student of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: [maks.batyuk@gmail.com](mailto:maks.batyuk@gmail.com)

#### РЕЦЕНЗЕНТИ

Фалендиш А.П. доктор технічних наук, професор, Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри теплотехніка та теплових двигунів, Харків, Україна.

Гутаревич Ю.Ф. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів та теплотехніки, Київ, Україна.

**REVIEWER**

Falendysh A.P. Doctor of Technical Sciences, professor, Ukrainian State Academy of Railway Transport, chief of department of heat engineering and heat engines, Kharkov, Ukraine.

Gutarevich U.F. Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, chief of department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.