

шин С. А., Щербаков С. С., Микитюк М. Е. – 2020132603; заявл. 01.10.2020; опубл.: 09.06.2021, Бюл. № 16. – Текст: непосредственный.

9. Патент России № 2759788 С1 МПК В07В 9/00 (2006.01). Мобильный зерноочистительный агрегат / Леканов С. В., Стрикунов Н. И. – 2020135095; заявл. 26.10.2020; опубл.: 17.11.2021, Бюл. № 32. – Текст: непосредственный.

References

1. Sukhoparov, A.A. Intensifikatsiia obrabotki zernovogo vorokha v mobilnykh zernoochistitelnykh mashinakh / A.A. Sukhoparov // Noveishie napravleniia razvitiia agrarnoi nauki v rabotakh molodykh uchenykh: Sbornik materialov VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchenoi 50-letiiu sozdaniia Soveta molodykh uchenykh pri SO VASKhNIL, r.p. Krasnoobsk, 24 marta 2021 goda / Sost.: N.S. Chulikova [i dr.]. Pod redaktsiei N.G. Vlasenko, K.S. Golokhvasta [i dr.]. – Novosibirsk: SFNTsA RAN, 2021. – S. 285-292.

2. Mikitiuk, M.E. Vybor ratsionalnoi skhemy komponovki mobilnogo zernoochistitelnogo agregata / M.E. Mikitiuk, S.V. Lekanov, N.I. Strikunov // Nauchnyi zhurnal «Nauchno-obrazovatelnyi potentsial molodezhi v reshenii problem XXI veka». – Krasnoiar. gos. agrar. un-t. Achinskii f-l. – Achinsk, 2018. – S. 127-129.

3. Lekanov S.V. Mobilnyi zernoochistitelnyi agregat dlia melkikh fermerskikh khoziaistv i krupnykh agrokholdingov / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov // Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie APK Sibiri: materialy Mezhdunarodnoi nauch-

no-tekhnicheskoi konferentsii (r.p. Krasnoobsk, 7-8 oktiabria 2021 g.) / FGBUN SFNTsA RAN. – Novosibirsk, 2021. – S.57-61.

4. Lekanov, S. V. Sposoby zagruzki mobilnykh zernoochistitelnykh agregatov / S. V. Lekanov // Sovremennoe sostoianie, problemy i perspektivy razvitiia agropromyshlennogo kompleksa: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii posviashchenoi godu nauki i tekhnologii Rossiiskoi Federatsii, 100-letiiu Respubliki Komi, Dniu rabotnikov selskogo khoziaistva i pererabatyvaiushchei promyshlennosti, nedele agropromyshlennogo kompleksa, Syktyvkar, 29 oktiabria 2021 goda. – Kirov: Mezhdunarodnyi tsentr innovatsionnykh tekhnologii v obrazovanii, 2021. – S. 67-71.

5. Moveable Seed Plants: Think Inside the Box. Seed World International Edition. 2018. - P. 77.

6. Quick, G.R. (2007). Remarkable Australian Farm Machines: Ingenuity on the Land. Australia: Rosenberg Publishing.

7. Hart L. (2015). Mobile Grain Cleaner Catches FHB and Ergot. *Farming Smarter*. P. 22-23.

8. Patent Rossii No. 2749395 S1 МПК В07В 9/00 (2006.01). Mobilnyi zernoochistitelnyi agregat / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A., Shcherbakov S.S, Mikitiuk M.E. 2020132603; zaiavl. 01.10.2020; opubl.: 09.06.2021, Biul. No. 16.

9. Patent Rossii No. 2759788 S1 МПК В07В 9/00 (2006.01). Mobilnyi zernoochistitelnyi agregat / Lekanov S.V., Strikunov N.I. 2020135095; zaiavl. 26.10.2020; opubl.: 17.11.2021, Biul. No. 32.



УДК 621.436:699.871

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-101-106

А.А. Мельберт, Ч.Х. Нгуен
A.A. Melbert, T.H. Nguyen

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

RESULTS OF MODELING TECHNOGENIC BURDEN ON THE ENVIRONMENT FROM HARMFUL EMISSIONS OF DIESEL ENGINES OF MOBILE MACHINES USED IN AGRICULTURAL OPERATIONS

Ключевые слова: техногенная, нагрузка, окружающая, среда, дизельный, двигатель, мобильная, машина, моделирование, экологическая, безопасность, вредные, выбросы.

Keywords: technogenic burden, environment, diesel engine, mobile machine, modeling, environmental safety, harmful emissions.

Применение мобильных машин с дизелями при проведении технологических операций в АПК дает много преимуществ, однако и вызывает множество рисков, связанных с отрицательным влиянием их вредных выбросов на окружающую среду, что может пагубно отразиться на состоянии здоровья работников отрасли, росте и урожайности культур, количестве и качестве производимой продукции. При разработке модели техногенной нагрузки был использован алгоритм, предложенный Н.Ф. Разлейцевым. Для решения поставленной цели встала необходимость дополнения следующих расчетных блоков: расчета выбросов углеводородов и оксида углерода; расчета удельных оценочных выбросов по 13-режимному испытательному циклу; определение приведенных к CO выбросов дизелей в атмосферу в единицу времени; определение техногенной нагрузки, создаваемой вредными выбросами дизеля в окружающую среду. Анализ участия отдельных компонентов отработавших газов в формировании показателя техногенной нагрузки на окружающую среду показал, что для всех сравниваемых дизельных двигателей мобильных машин доля оксидов азота составляет от 95,68% для дизелей с объемно-плечным смесеобразованием до 98,74% с объемным смесеобразованием. В результате исследования была подтверждена возможность математического моделирования техногенной нагрузки дизельных двигателей на окружающую среду. По степени снижения техногенной нагрузки можно оценивать средства и способы уменьшения вредных выбросов, производить выбор мобильных машин с конкретным типом дизельного двигателя для осуществления различных технологических операций в АПК. Оценка отклонений в результате математического моделирования техногенной нагрузки от результатов, полученных в результате проведения экспериментальной оценки для дизеля 8Ч 12/12, показала, что ошибка может составлять минус 7,74%. Моделирование позволяет, посредством учета косвенных показателей, оце-

нивать влияние микроклиматических условий на уровни техногенной нагрузки.

The use of mobile machines with diesel engines to perform technological operations in the agricultural industry gives many advantages, however, it also causes many risks associated with the negative impact of their harmful emissions on the environment, which can adversely affect the health of industry workers, the growth and yield of crops, the quantity and quality of products produced. When developing a model of technogenic burden, the algorithm proposed by N.F. Razleitsev was used. In order to achieve this goal, it became necessary to supplement the following calculation blocks: calculation of hydrocarbon and carbon monoxide emissions; calculation of specific estimated emissions for a 13-mode test cycle; determination of reduced to CO diesel emissions into the atmosphere per unit of time; determination of the anthropogenic burden created by harmful diesel emissions into the environment. The analysis of the participation of individual components of exhaust gases in the formation of the indicator of anthropogenic burden on the environment showed that for all compared diesel engines of mobile machines, the proportion of nitrogen oxides ranges from 95.68% for diesels with volumetric film mixing to 98.74% with volumetric mixing. As a result of the study, the possibility of mathematical modeling of the technogenic burden of diesel engines on the environment was confirmed. According to the degree of reduction of the technogenic burden, it is possible to evaluate the means and methods of reducing harmful emissions, to make a choice of mobile machines with a specific type of diesel engine for carrying out technological operations in agricultural industry. Evaluation of deviations as a result of mathematical modeling of technogenic burden from the results obtained as by experimental evaluation for the diesel 8H 12/12 showed that the error may be minus 7.74%. Modeling allows, by taking into account indirect indices, to assess the impact of microclimatic conditions on the levels of technogenic burden.

Мельберт Алла Александровна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: aamelbert@mail.ru.

Нгуен Чан Хынг, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: hungtnut.nguyen@gmail.com.

Melbert Alla Aleksandrovna, Dr. Tech. Sci., Professor, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: aamelbert@mail.ru.

Nguyen Tran Hung, post-graduate student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: hungtnut.nguyen@gmail.com.

Введение

Проблема повышения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве является актуальной в настоящее время [1, 2].

Тракторы и мобильные машины с дизельными двигателями широко используются на технологических операциях в растениеводстве, животноводстве, кормопроизводстве и выбрасы-

вают в атмосферный воздух значительное количество вредных веществ – оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO), углеводороды (C_xH_y) и твердые частицы (ТЧ), которые отрицательно воздействуют на состояние воздушной среды, приводят к ухудшению состояния здоровья работников АПК, снижению урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства [1, 3].

Мобильные машины и тракторы в сельскохозяйственном производстве эксплуатируются в основном по внешней скоростной характеристике и выбрасывают с отработавшими газами большое количество твердых частиц и оксидов азота. Выбросы твердых частиц для дизелей могут достигать 1 % по массе сожженного топлива [1-3].

Цель исследования состоит в повышении экологической безопасности путем прогнозирования уровня техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов дизелей мобильных машин, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Задачи исследования: формирование уровня техногенной нагрузки в зависимости от регулировок, видов применяемого топлива, выделение связей с климатическими и географическими параметрами и показателями режимов эксплуатации.

Объекты и методы

Снижение загрязнения воздушной среды вредными выбросами дизелей связано с оценкой ряда показателей. К основным показателям следует отнести:

1) прогнозируемые оценочные показатели нормируемых вредных выбросов (в г/(кВт·ч)) по оксидам азота $q_{оц\ NO_x}$, углеводородам $q_{оц\ CH}$, оксиду углерода $q_{оц\ CO}$, твердым частицам $q_{оц\ ТЧ}$;

2) прогнозируемые показатели техногенной нагрузки при прогнозируемых показателях нормируемых вредных выбросов с отработавшими газами;

3) расчетные показатели техногенной нагрузки при выполнении норм ЕВРО-3, ЕВРО-4, ЕВРО-5, ЕВРО-6 и стандартов России;

4) расчетные относительные показатели, характеризующие отношения прогнозируемых показателей техногенной нагрузки к нагрузкам, ограниченным нормативами;

5) расчетные показатели необходимой степени снижения техногенной нагрузки путем применения различных способов уменьшения вредных выбросов в окружающую среду.

Для моделирования техногенной нагрузки, создаваемой вредными выбросами дизеля в атмосферу и прогнозирования ее снижения, был выбран феноменологический подход.

При разработке модели за основу был принят алгоритм, предложенный Н.Ф. Разлейцевым [4]. Однако для осуществления поставленной

цели встала необходимость введения дополнительных расчетных блоков или подпрограмм: расчета выбросов углеводородов и оксида углерода; расчета удельных оценочных выбросов по 13-режимному испытательному циклу; определение приведенных к СО выбросов дизелей в атмосферу в единицу времени; определение техногенной нагрузки от вредных выбросов дизеля.

При оценке вредных выбросов дизелей по европейскому, американскому, японскому и другим испытательным циклам, в том числе по ГОСТ 17.2.2.05-2021, используются следующие оценочные показатели в г/(кВт·ч) [1, 2, 5]:

$$q_{оцCO} = \sum_{m=1}^m c_{CO} / \sum_{m=1}^m N_e; q_{оцNO_x} = \sum_{m=1}^m c_{NO_x} / \sum_{m=1}^m N_e; \quad (1)$$

$$q_{оцCH} = \sum_{m=1}^m c_{CH} / \sum_{m=1}^m N_e; q_{оцТЧ} = \sum_{m=1}^m c_{ТЧ} / \sum_{m=1}^m N_e,$$

где m – количество режимов испытательного цикла;

N_e – мощность дизеля на m -м режиме;

c – концентрация вредного вещества в отработавших газах на m -м режиме.

При назначении испытательного цикла суммарная мощность может быть определена из выражения, кВт:

$$N_e \sum = N_{e_{ном}} \cdot L, \quad (2)$$

где L – коэффициент может быть определен для разных испытательных циклов: 13-, 10-, 8-режимного.

Показатель техногенной нагрузки определялся по формуле [1, 2]:

$$K_{TH} = \left(\sigma_{03} \cdot d_{пкв} \cdot M_{ог} / R_p \right) \cdot 10^{-2}, \text{ ут}/(\text{км}^2 \cdot \text{год}), \quad (3)$$

где $d_{пкв}$ – коэффициент природно-климатических условий местности;

σ_{03} – показатель относительной опасности загрязнения атмосферы, характеризующий рельеф местности и макрорельефности;

R_p – коэффициент рассеяния с учетом скорости движения ветра;

$M_{ог}$ – приведенный выброс вредных веществ (усл. т/год).

Для тракторов и автомобилей коэффициент рассеяния R_p в атмосфере рассчитывается в зависимости от скорости ветра.

$$R_p = \frac{\bar{U}}{2,5} (\pi_p h_T + 20), \quad (4)$$

где \bar{U} – средняя скорость воздуха;

π_p – коэффициент разбавления, в приземной слое $\pi_p = 2,00$; h_T – высота трубы, м;

2,5 – средняя скорость ветра при штиле, м/с.

Экспериментальная часть

Для моделирования характерных нагрузок в эксплуатации были использованы данные о характере изменения скоростных и нагрузочных режимов по 13-режимному испытательному циклу согласно ГОСТ. Для определения удельных оценочных выбросов CO, CH, NO_x и ТЧ были использованы данные стандартов ЕВРО-3, ЕВРО-4, ЕВРО-5, ЕВРО-6 [1, 2, 5-7].

Для определения показателей относительной опасности загрязнения атмосферы σ_{O_3} и значений коэффициентов природно-климатических условий $d_{ПКУ}$ использовались данные, приведенные в работах И.Ж. Детри, А.Л. Новоселова [1, 2]. При сравнительных оценках принимался $\sigma_{O_3} = 1,0$; $d_{ПКУ} = 2,00$ – для Сибири и Дальнего Востока.

Константы и коэффициенты в расчетных зависимостях приняты с учетом рекомендаций Н.Ф. Разлейцева, В.А. Звонова, Новоселова, А.С. Хачияна, И.П. Васильева, С.А. Батурина, А.Л., В.Ю. Русакова, Г.М. Камфера.

Исходные данные для моделирования были разделены на следующие; группы: геометрические размеры; характеристики топлива и окислителя; константы и коэффициенты расчетных формул; параметры расчетного режима.

Параметры рабочего тела в цилиндре в процессе горения определялись по методике, предложенной И.И. Виббе. На основе современных представлений об образовании и выгорании сажи в цилиндре дизеля модель позволяет прогнозировать результирующие выбросы ТЧ, включая сажу с отработавшими газами. При этом, исходя из особенностей закона выделения тепла, предусматривается расчет сажеобразования в зоне горения, путем полимеризации ядер капель топлива, выгорания сажи в процессе сгорания в цилиндре. Модель позволяет моделировать процесс образования углеводородов C_xH_y и образования и окисления оксида уг-

лерода CO и прогнозировать техногенную нагрузку на окружающую среду от вредных выбросов определенной модели дизеля в конкретных условиях.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 произведены сравнительные данные по оценке удельных выбросов NO_x, CO, C_xH_y, ТЧ определенных экспериментально и математическим моделированием. На основе этих данных определены коэффициенты техногенной нагрузки для дизелей Д20НР-250 (БЧ 15/15), УТД-29 (10Ч 15/15), ЯМЗ-238 (8Ч 13/14), КамАЗ-740 (8Ч 12/12).

В результате моделирования вредных выбросов, определения удельных оценочных выбросов вредных веществ, техногенной нагрузки на окружающую среду, сравнения с результатами экспериментальной оценки обнаружено, что ошибка при моделировании достигла для дизелей: Д20НР-250 – 12,7%; УТД-9 – 16,6%; ЯМЗ-238 – 18,8%; КамАЗ-740 – 7,74%.

Анализ участия отдельных компонентов отработавших газов в формировании показателя техногенной нагрузки на окружающую среду выявил, что для всех сравниваемых дизельных двигателей на долю оксидов азота приходится от 95,68% для дизелей с объемно-пленочным смесеобразованием до 98,74% с объемным смесеобразованием. Выявлено, что для дизелей с более высокими уровнями удельных выбросов NO_x (табл. 1, 2) характерны более низкие уровни выбросов продуктов неполного сгорания.

Таким образом, подтверждена возможность математического моделирования техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов дизельных двигателей мобильных машин. По степени снижения техногенной нагрузки можно оценивать отдельные средства и способы уменьшения вредных выбросов дизелей, производить выбор мобильной машины для осуществления технологических операций. Предложенная математическая модель служит решению экологических проблем и может быть рекомендована к использованию.

Таблица 1

Результаты моделирования техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов

Технические характеристики	Обозначение	Дизельный двигатель в составе мобильной машины			
		Д20НР-250	УТД-29	ЯМЗ-238	КамАЗ-740
Тип дизеля		открытая в поршне		полуразделенная в поршне	
Тип камеры сгорания		открытая в поршне		полуразделенная в поршне	
Число и расположение цилиндров, шт.	$i_{ц}$	6V	10V	8V	8V
Степень сжатия	ϵ	13,8	13,8	15,2	17
Номинальная мощность, кВт	$N_{ном}$	184	336	228	155
Частота вращения коленчатого вала, мин. ⁻¹	$n_{н}$	2600	2600	2100	2600
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	q_e	233	247	226	228
Удельный оценочный выброс оксидов азота, г/(кВт·ч)	$q_{оц\ NO_x}$	13,66	16,72	15,35	8,86
Удельный оценочный выброс оксида углерода, г/(кВт·ч)	$q_{оц\ CO}$	2,95	2,33	1,75	4,93
Удельный оценочный выброс углеводородов, г/(кВт·ч)	$q_{оц\ CH}$	0,36	0,46	0,63	1,23
Удельный оценочный выброс твердых частиц, г/(кВт·ч)	$q_{оц\ TC}$	0,22	0,21	0,22	0,40
Моделируемый удельный оценочный выброс оксидов азота, г/(кВт·ч)	$q'_{оц\ NO_x}$	11,88	13,88	12,43	8,15
Моделируемый удельный оценочный выброс оксида углерода, г/(кВт·ч)	$q'_{оц\ CO}$	3,27	2,70	1,98	5,22
Моделируемый удельный оценочный выброс углеводородов, г/(кВт·ч)	$q'_{оц\ CH}$	0,40	0,47	0,70	1,25
Моделируемый удельный оценочный выброс твердых частиц, г/(кВт·ч)	$q'_{оц\ TC}$	0,23	0,22	0,24	0,36
Коэффициент техногенной нагрузки, ут/(км ² ·год)	$K_{ТН}$	0,251	0,306	0,282	0,168
Моделируемый коэффициент техногенной нагрузки, ут/(км ² ·год)	$K'_{ТН}$	0,219	0,255	0,229	0,155
Отклонение, %	$\Delta K_{ТН}$	-12,7	-16,6	-18,8	-7,74

Таблица 2

Результаты оценки участия отдельных компонентов отработавших газов дизелей в формировании техногенной нагрузки на окружающую среду

Компоненты отработавших газов	Источники данных в расчете техногенной нагрузки	Марки дизелей в обозначении по ГОСТ			
		6Ч 15/15	10Ч 15/15	8Ч 13/14	8Ч 12/12
Оксиды азота NO _x	модель	98,55	98,74	98,33	95,68
	опыт	98,80	99,0	98,71	95,92
Оксид углерода CO	модель	0,286	0,20	0,165	0,649
	опыт	0,22	0,15	0,12	0,56
Углеводороды C _x H _y	модель	0,479	0,48	0,799	2,12
	опыт	0,376	0,39	0,585	1,92
Твердые частицы TC	модель	0,685	0,574	0,697	1,55
	опыт	0,58	0,456	0,475	1,59

Выводы

1. На основе анализа существующих методик оценки воздействия дизелей на окружающую среду и расчета параметров рабочего процесса и процессов образования токсичных веществ в цилиндре дизеля разработан алгоритм расчета и прогнозирования техногенной нагрузки дизельного двигателя на окружающую среду.

2. Моделирование показало удовлетворительную сходимость результатов расчета, при соответствующей настройке модели по индикаторным

диаграммам дизелей. Расхождения данных опытов и моделирования по определению выбросов твердых частиц основаны на том, что в модели не учтены процессы образования их при сгорании капель масла и не учтены процессы образования сульфитов воды.

3. Модель позволяет предварительно решать вопросы уменьшения техногенной нагрузки от вредных выбросов дизельных двигателей мобильных машин.

4. Оценка отклонений в результате математического моделирования техногенной нагрузки от показателей, полученных в результате проведения экспериментальной оценки для дизеля 8Ч 12/12, показала, что ошибка может составлять -7,74%.

5. В результате оценки участия отдельных компонентов отработавших газов дизеля в формировании техногенной нагрузки на окружающую среду обнаружено, что на долю оксидов азота NO_x приходится 95,68-98,74%.

6. Моделирование позволяет, посредством учета косвенных показателей, оценивать влияние микроклиматических условий на уровни техногенной нагрузки на окружающую среду.

Библиографический список

1. Новоселов, А. Л. Снижение вредных выбросов дизелей / А. Л. Новоселов, А. А. Мельберт, А. А. Жуйкова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 139 с. – Текст: непосредственный.

2. Новоселов, А. Л. Техногенная нагрузка, создаваемая вредными выбросами дизелей на окружающую среду / А. Л. Новоселов, А. А. Мельберт, Д. В. Светашев. – Текст: непосредственный // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сборник статей / под редакцией А. Л. Новоселова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – С. 6-18.

3. Горбунов, В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В. В. Горбунов, Н. Н. Патрахальцев. – Москва: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с. – Текст: непосредственный.

4. Разлейцев, Н. Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н. Ф. Разлейцев. – Харьков: Выща школа, 1980. – 169 с. – Текст: непосредственный.

5. Melbert, A., Mashensky, A. (2020). Results of Studying Cleaning of Exhaust Gases of Preheater-Equipped KamAZ-740 Diesel Engine. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_36.

6. Chandes K., Pichon G., Raulf M. (2004). Urea SCR heavy duty engine NO_x reduction for EURO-IV. *Ing. automob.* 770: 61-65.

7. Schwarz Adelbert. Euro-3-Power bis 530 PS // *KFZ Anz.* 1999. 52, No. 20. S. 10-12.

References

1. Novoselov A. L., Melbert A.A., Zhuikova A.A. Snizhenie vrednykh vybrosov dizelei. – Novosibirsk: Nauka, 2007. – 139 s.

2. Novoselov A.L., Melbert A.A., Svetashev D.V. Tekhnogennaia nagruzka, sozdavaemaia vrednymi vybrosami dizelei na okruzhaiushchuiu sredu // *Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti avtotraktornoj tekhniki: sb. statei pod red. A.L. Novoselova.* – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2003. – S. 6-18.

3. Gorbunov V.V., Patrakhaltsev N.N. Toksichnost dvigatelei vnutrennego sgoraniia. – Moskva: Izd-vo RUDN, 1998. – 214 s.

4. Razleitsev N.F. Modelirovanie i optimizatsiia protsessa sgoraniia v dizeliakh. – Kharkov: Vyshcha shkola, 1980. – 169 s.

5. Melbert, A., Mashensky, A. (2020). Results of Studying Cleaning of Exhaust Gases of Preheater-Equipped KamAZ-740 Diesel Engine. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_36.

6. Chandes K., Pichon G., Raulf M. (2004). Urea SCR heavy duty engine NO_x reduction for EURO-IV. *Ing. automob.* 770: 61-65.

7. Schwarz Adelbert. Euro-3-Power bis 530 PS // *KFZ Anz.* 1999. 52, No. 20. S. 10-12.



УДК 621.316.11

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-106-114

И.В. Наумов, А.А. Багаев

I.V. Naumov, A.A. Bagaev

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

STUDY OF ASYMMETRIC OPERATING MODES OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS IN THE ALTAI REGION

Ключевые слова: несимметрия токов и напряжений, качество электроэнергии, дополнительные потери электроэнергии, показатели несимметрии токов и напряжений, симметрирующее устройство.

Keywords: current and voltage asymmetry, power quality, additional losses of electricity, current and voltage asymmetry indices, balancing device.