

установок, Херсонська державна морська академія, Україна, postsavchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5266-850X>

Тулученко Галина Яківна – доктор техн. наук, професор, професор кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, tuluchenko.galina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6196-540X>;

DEVELOPMENT OF METHODS FOR EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF ENGINES ACCORDING TO THE RESULTS OF INDICATION OF WORKING PROCESS ON MODES DIFFERENT FROM NOMINAL

Ie.V. Bilousov, A.P. Marchenko, M.Ie. Rybalchenko, V.P. Savchuk, H.Ya. Tuluchenko

Technical condition assessment of marine internal combustion engines by the parameters and nature of the workflow is a common practice in their operation. Taking and analysis of indicator diagrams is a mandatory procedure provided by the rules of technical operation for the main range of large and medium-sized marine engines. There is a whole arsenal of indication means for such evaluation: from classical mechanical systems to electronic means of periodic or continuous action. The rapid development of electronic control systems and changes in approaches to logistics operations in maritime transport have imposed a number of limitations, somewhat narrowing the possibilities of using these methods. Most of the vessels that form the basis of the world merchant fleet were built 10...15 years ago. Information about the results of the indication of the engines of such vessels during bench tests is presented in the form of raster images. This complicates the process of using them as the reference needed to compare them with the actual diagrams obtained in operation by means of electronic control systems, which have replaced mechanical indicators over the past few years. In addition, tendencies to reduce the speed of vessels complicate, and often make it impossible to indicate the engines in the specified operating modes. As a result, the efficiency of using indicator diagrams to assess the current technical condition is sharply reduced. In this regard, there is an objective need to compare different methods of obtaining and storing information about the results of indication and in a unified method of presenting this information, convenient for processing and analysis. In addition, there is a need to develop methods for obtaining reference diagrams for non-specific modes on the basis of processing the results of acceptance and commissioning bench tests of a particular engine to assess its technical condition by the results of indication on the partial load modes. This study is devoted to the comparison of different methods of presenting information and obtaining reference indicator diagrams for non-specific operating modes of engines.

Keywords: marine low-speed engines; indicator diagram; operating mode; Koons surface.

УДК 621.436.12

DOI: 10.20998/0419-8719.2022.1.08

О.В. Грицюк, Д.В. Левченко

ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПУСКОВИХ ЯКОСТЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

У статті зазначено шлях вирішення проблеми підвищення пускових якостей і зниження димності відпрацьованих газів вітчизняного автомобільного дизеля 4ДТНА1 з безпосереднім впорскуванням палива при низьких температурах навколишнього середовища шляхом оптимізації параметрів і елементів системи пуску та роботи на холостому ході за раціональними алгоритмами. Для вирішення цієї проблеми обґрунтована необхідність в проведенні експериментального дослідження пускових якостей автомобільного дизеля та в формуванні математичного плану експерименту для проведення наступного розрахункового дослідження. Висвітлено основні положення щодо організації багатофакторного експериментального дослідження пускових якостей автомобільного дизеля. Зроблено опис та дані характеристики попередньо створеної для експериментального дослідження фізичної моделі на базі вітчизняного автомобільного вихрекамерного дизеля 4ДТНА. Наведено особливості і переваги створеної фізичної моделі щодо традиційних рішень для дослідження пускових якостей автомобільних двигунів, зокрема у використанні зовнішнього навантаження для відтворення впливу на моторне масло низької температури в умовах важкого доступу до кліматичних камер. Обґрунтований вибір саме вихрекамерного зразка фізичної моделі для проведення досліджень пуску через перспективну, знижену на 1-1,5 одиниці, ступінь стиснення та можливість якісного дослідження впливу передпускового підігріву обсягу камери згоряння свічкою розжарювання. Позначені дійсні значення величин обраних 6-ти, найбільш впливових на процес пуску, лінійно незалежних факторів під час проведення експериментального дослідження згідно з прийнятим планом з 77 заліковими холодними пусками. Відзначено, що фактичний результат встановлення певних керованих факторів носить випадковий характер з певною похибкою на границях точного значення відповідно до ортогонального плану експерименту. Таке варіювання дійсних величин вимагає застосування спеціального математичного апарату, реалізованого авторами в програмному продукті *Approximation_LSM*, при проведенні аналізу результатів 6-ти факторного експериментального дослідження.

Ключові слова: пуск дизеля; багатофакторне дослідження; експеримент; фізична модель; план експерименту.

Вступ

Останнє десятиліття достатньо відомі в Україні організації двигунобудівної галузі ведуть науко-

ве забезпечення реалізації державного інноваційно-інвестиційного проекту "Слобожанський дизель" [1]. Об'єктами цього проекту є сімейство вітчизня-

них автомобільних дизелів серії ДТ. Найбільший попит та цікавість представляє дволітровий чотирициліндровий дизель номінальною потужністю 73 кВт. За рахунок перспективних техніко-економічних та масово-габаритних показників, дизель призваний стати конкурентною альтернативою в своєму сегменті для вітчизняного ринку в якості силової установки для легкового автотранспорту, малогабаритних вантажних автомобілів і мікроавтобусів.

При проходженні довготривалих дорожніх випробувань у складі першого дослідного малогабаритного вантажного автомобіля МА33 на Харківському автомобільному заводі (рис.1) повсякденна експлуатація в зимовий період виявила суттєві зауваження до якості низькотемпературного холодного пуску дизеля 4ДТНА1, а саме незадовільну надійність пуску в зимовий період експлуатації та підвищену димність відпрацьованих газів під час його підготовки до сприйняття навантаження.

Цю проблему заплановано вирішити за рахунок оптимізації параметрів складових системи пуску та автоматизації як процесу пуску, так і холостого ходу. При цьому основною вимогою щодо наявної системи пуску є забезпечення надійного пуску від електростартеру при температурі навколишнього середовища до мінус 10 °С без застосування допоміжних засобів передпускової підготовки. Саме такі вимоги прописані у технічному завданні на розробку дизеля 4ДТНА1 та саме така задача стала складовою наукового забезпечення вирішення зазначеної проблеми кафедрою двигунів внутрішнього згоряння ХНАДУ.



Рис. 1. Моторний відсік дослідного автомобіля МА33 з дизелем 4ДТНА1

Метою роботи є формування математичного плану експерименту при багатофакторному дослідженні пускових якостей автомобільного дизеля для наступного забезпечення проведення за цим планом експериментально-розрахункового пошуку

раціонального поєднання цілком конкретних значень величин конструктивних та регулювальних параметрів елементів систем забезпечення і полегшення пуску, яке здатне привести до надійного пуску при низьких температурах навколишнього середовища з дотриманням вимог щодо димності відпрацьованих газів.

Задачею роботи є представлення та запровадження отриманого конкретного раціонального плану шестифакторного експерименту для проведення подальшого розрахункового дослідження з показом можливості реалізації науково-технічного підходу до створення системи пуску автомобільного дизеля на підставі проведення стендових випробувань фізичної моделі двигуна згідно плану експериментального дослідження.

Аналіз публікацій з напрямку досліджень

Вивчення світового досвіду з дослідження пускових якостей автомобільного дизеля показує тенденцію до експериментального підходу [2-10], в той час як теоретичне представлення процесу пуску через складність математичного описання нестационарних процесів та значної чутливості математичної моделі до зміни вихідних даних вважається не надійним і вимагає значно більших витрат часу на реалізацію дослідження [11, 12].

Перші спроби науково-технічного підходу до вирішення задачі прискореного пуску автомобільного дизеля при зменшенні димності відпрацьованих газів зроблені одним із авторів цієї статті ще 10 років тому [2]. В роботі представлений перший досвід використання апарату математичного планування експерименту при дослідженні пускових якостей автомобільного дизеля, що виявились дуже ефективним при проведенні експериментального дослідження. Концепція зовнішнього навантаження дизеля під час пуску також піднята протягом попередніх досліджень за напрямком, а також висвітлена в роботі [6].

Науково-технічний підхід до вирішення задачі холодного пуску

Основні результати у прогресі напрямку дослідження пускових якостей малолітражного автомобільного дизеля, започатковані у роботі [2], досягнуті останнім часом [3, 4]. Насамперед було створено фізичну модель для експериментальних досліджень пускових якостей дизеля 4ДТНА1 з закладеною в неї можливістю форсування цього двигуна до 90 кВт. Водночас умовою створення такої моделі була можливість вивчення механізму впливу часу прогріву повітря камери згоряння свічкою розжарювання перед пуском на робочий процес у циліндрі двигуна. Всі попередні дослідження [2, 5] зводилися до визначення мінімально необхід-

ної температури нагрівання наконечника свічки розжарювання як джерела каталізаторного займання палива.

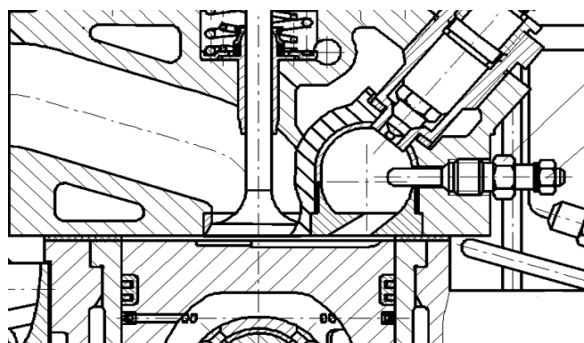


Рис. 2. Камера згоряння дизеля 4ДТНА з вихровою камерою

Ці два фактори дозволили обрати у якості бази для фізичної моделі на початковий дизель 4ДТНА з вихрокамерним сумішоутворенням. Саме наявність вихрової камери (рис. 2) дала змогу зменшити ступінь стиснення з 18,5 до перспективних 17-17,5 одиниць, які обґрунтовані роботами [8, 9], та створити ідеальні умови для максимального зростання температури повітряного заряду навколо наконечника свічки розжарювання. Необхідно відмітити, що створити розрахункову модель займання палива біля свічки розжарювання з урахуванням температури нагрівання наконечника та часу попереднього вмикання свічки на цей час неможливо. Окрім того можливо тільки припустити як в кінці такту стиснення при зміні частоти обертання колінчастого вала у процесі спроби холодного пуску поведе себе температура в камері згоряння з урахуванням попереднього підігріву від свічки розжарювання. Ха-

рактеристика такого підігріву перед спробою пуску дизеля 4ДТНА представлена на рис. 3.

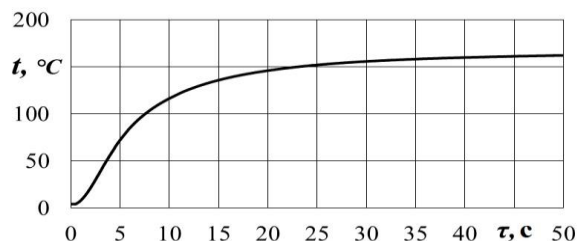


Рис. 3. Зміна температури у вихровій камері згоряння свічкою розжарювання в залежності від часу (поршень в ВМТ)

Ще однією перевагою створеної фізичної моделі є використання спеціального експериментального механізму, що може змінювати кут випередження упорскування палива в межах 25 град. п.к.в.

Визначальною складовою науково-технічного підходу до вирішення задачі холодного пуску автомобільного дизеля є особливість подання моменту опору двигуна у якості еквівалентного навантаження від впливу на будь-яке моторне масло низької температури навколишнього середовища. Складність вирішення такої задачі в умовах важкого доступу до спеціальних кліматичних камер шляхом зміни навантаження на КВ за рахунок кінематично з'єданого з КВ вала ротора балансірної машини через коробку зміни передач вже знайшли своє відображення у попередній статті авторів [3]. Схема моторного стенду ХНАДУ для пускових випробувань фізичної моделі "Слобожанського дизеля" надана на рис. 4.

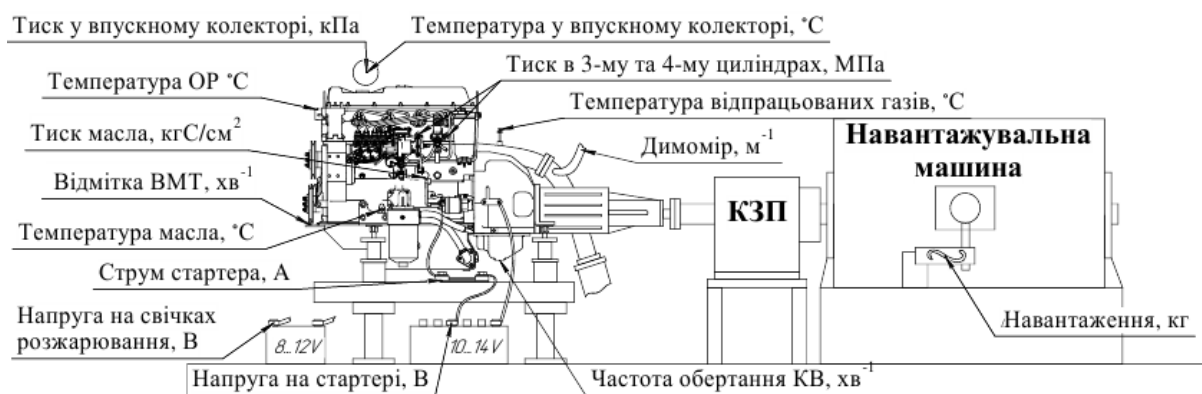


Рис. 4. Вимірювальна схема фізичної моделі дослідження пускових якостей вітчизняного автомобільного дизеля 4ДТНА

Підготування цілих шести змінних контрольованих параметрів впливу на холодний пуск дизеля

та необхідність проведення досить складного експериментально-розрахункового дослідження приз-

вели до здійснення наступного кроку щодо застосування методу математичного планування експерименту у дослідженні ДВЗ, а саме вибору та обґрунтування математичного плану 6-ти факторного експерименту по дослідженню пускових якостей вітчизняного автомобільного дизеля [4] і розробленню та практичному використанню спеціалізованого програмного комплексу "Approximation_LSM".

Підготовка та запис раціонального математичного плану експерименту

На відміну від існуючих, новий програмний комплекс "Approximation_LSM" дозволяє не тільки обробити плани експериментів більше 4-х факторів, але і дозволяє заносити у план обробки такі фактичні значення факторів, які навіть теоретично неможливо витримати з точністю попереднього нормування.

Авторам невідомо жодного прикладу запису та подальшої реалізації плану шестифакторного експерименту при варіюванні факторів на трьох рівнях у галузі машинобудівної інженерії. Тому наочний приклад запису вимірних та розрахованих параметрів (табл.1), які безпосередньо визначають якість холодного пуску автомобільного дизеля, повинен мати неабиякий практичний інтерес.

Таблиця 1. План-матриця дійсних параметрів холодного пуску

№ п.п.	$Q_{ц}$, мм ³ /цикл	$\Theta_{КВУП}$, град п.к.в.	$t_{скв}$, °C	$n_{КВ}$, хв ⁻¹	$T_{ср}$, К	$\tau_{ср}$, с
1	28	28	9,6	223,4	1184,6	25,5
2	36	28	8,8	232,4	1194,7	24,7
3	28	12	9,1	232,8	1196,6	24,9
4	36	12	8,4	220,3	1204,8	24,8
5	28	28	0,6	222,4	1202,6	24,9
6	36	28	-0,9	232,5	1171,1	24,6
7	28	12	0,1	226,1	1183,7	25,4
8	36	12	0,6	231,4	1196,8	25,2
9	28	28	8,7	272,2	1196,8	24,3
10	36	28	8,5	277,9	1171,9	25,0
11	28	12	9,9	269,8	1167,6	25,1
12	36	12	9,8	276,1	1178,5	25,2
13	28	28	0,3	275,8	1186,1	25,2
14	36	28	0,0	278,5	1202,8	24,2
15	28	28	8,1	279,5	1196,2	24,7
16	36	12	0,5	257,1	1194,5	27,9
17	28	12	0,9	222,6	1348,8	26,5
18	36	28	8,6	225,1	1350,0	24,6

19	28	28	9,2	224,1	1375,6	24,5
20	36	28	9,9	233,8	1364,7	25,5
21	28	12	9,6	228,1	1358,9	25,3
22	36	28	8,2	231,5	1367,5	24,3
23	28	12	9,2	224,8	1374,4	24,4
24	36	28	8,5	231,4	1368,5	24,7
25	28	28	-0,7	274,3	1371,1	24,9
26	35	28	0,2	257,1	1344,4	25,0
27	28	12	-0,8	277,4	1363,1	24,9
28	35	12	0,0	257,0	1346,0	25,1
29	28	28	9,4	279,6	1384,7	25,1
30	36	12	8,2	270,8	1376,1	25,3
31	28	12	9,9	272,0	1387,4	25,3
32	36	12	9,3	270,0	1354,6	24,8
33	28	28	0,5	223,7	1176,2	44,5
34	36	28	0,9	231,8	1175,3	45,1
35	28	12	0,1	224,7	1208,7	45,1
36	36	12	-0,5	229,1	1183,0	44,8
37	28	28	8,1	227,2	1176,3	44,4
38	36	28	8,1	225,5	1186,0	44,6
39	28	28	9,3	226,8	1167,2	44,9
40	36	28	9,9	231,8	1203,3	44,3
41	28	28	9,8	282,0	1190,8	44,9
42	36	28	8,6	274,5	1172,7	44,5
43	28	12	8,2	269,7	1160,8	44,5
44	36	12	8,1	269,2	1186,9	44,5
45	28	28	8,6	280,3	1205,3	44,8
46	36	28	9,0	273,7	1192,3	45,0
47	28	28	9,5	276,0	1198,1	44,7
48	36	28	9,5	273,3	1192,8	44,9
49	28	28	9,1	228,2	1352,4	44,1
50	36	28	0,9	232,0	1347,2	44,1
51	28	28	0,5	221,0	1349,1	45,0
52	36	12	0,2	221,6	1356,3	45,3
53	28	12	-0,4	230,5	1388,0	44,9
54	36	28	9,8	229,1	1373,7	44,6
55	28	28	9,1	232,8	1375,1	45,1
56	36	28	9,7	224,8	1351,7	44,2
57	34	12	8,3	270,9	1262,9	45,4
58	28	12	8,8	270,3	1383,1	44,8
59	36	28	-0,8	269,2	1348,7	45,3
60	28	28	0,2	274,0	1357,7	44,1
61	36	12	-0,6	276,9	1368,9	44,5
62	28	12	-0,1	269,5	1340,8	44,7
63	36	28	10,0	271,5	1358,7	44,9
64	28	28	8,6	271,8	1343,0	44,9
65	36	28	9,4	278,3	1386,8	45,0
66	32	12	9,9	263,7	1277,3	35,1

Закінчення таблиці 1

67	36	28	8,6	244,6	1282,9	34,8
68	36	28	8,4	257,4	1155,4	35,3
69	32	12	8,4	252,5	1282,1	34,5
70	32	28	-1,0	257,4	1277,9	34,9
71	32	28	-0,8	246,1	1254,7	35,0
72	32	12	0,0	223,8	1293,3	34,9
73	32	12	-0,1	272,4	1265,9	35,0
74	32	28	9,1	245,3	1190,8	35,1
75	32	12	8,9	251,2	1389,2	34,6
76	32	28	8,5	252,8	1291,2	24,7
77	32	28	9,3	273,6	1184,6	45,4

При цьому вихідні показники якості процесу пуску вже запропоновані авторами у джерелі [4], а запорукою здійснення наступної успішної оптимізації є вищезазначений розрахунковий апарат.

Висновки

1. Сформовано цілком конкретний раціональний математичний план шестифакторного експерименту для дослідження пускових якостей автомобільного дизеля.

2. Запропонований математичний план відрізняється від тих, що вже застосовуються у галузі машинобудівної інженерії, своєю багатofакторністю та одноплановим записом вимірюваних і розрахункових параметрів наступної оптимізації.

Список літератури:

1. Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проекту «Розроблення та впровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100-175 к.с. подвійного призначення (Слобожанський дизель)»: монографія; за ред. Ф.І. Абрамчука, О.В. Грицюка та І.А. Дмитрієва. – Харків: ХНА-ДУ, 2012. – 164 с. 2. Грицюк А. В. Опыт применения метода планируемого эксперимента в исследованиях переходных процессов пуска дизельного двигателя / А.В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 2. – С. 53-59. 3. Грицюк О.В. Особливості уявлення моменту опору дизельного двигуна як незалежного фактору впливу на його пускові якості / О.В. Грицюк, Д. В. Левченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2020. – №2. – С. 64-73. DOI: 10.20998/0419-8719.2020.2.09, ISSN: 0419-8719 4. Левченко Д.В. Вибір та обґрунтування математичного плану 6-ти факторного експерименту при дослідженні пускових якостей ДВЗ / Д. В. Левченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2021. – № 2. – С. 86-92. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.12, ISSN: 0419-8719 5. Механизмы влияния свечей накалывания на рабочий процесс в дизельных двигателях / К.В. Корытченко, О.В. Стаховский, А.В. Серпухов, Д.В. Бизонич та ін. // Систем обробки інформації. – 2016. – № 6 (143). – С. 205-210. 6. Анацький О.О. Аналіз факторів впливаючих на

пускові характеристики дизельних двигунів тепловозів та допоміжних пристроїв для полегшення пуску / О.О. Анацький, С.В. Бобрицький // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2015. – № 1(218). – С. 272-276. 7. Effects of cold start control strategy on cold start performance of the diesel engine based on a comprehensive preheat diesel engine model / Yuanwang Deng, Huawei Liu, Xiaohuan Zhao, Jiaqiang E, Jianmei Chen // Applied Energy. – 2018. – Vol. 210, С. 279-287 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.093>. 8. Pacaud P. Cold Start on Diesel Engine: Is Low Compression Ratio Compatible with Cold Start Requirements? / P. Pacaud, H. Perrin, O. Laget // SAE International Journal of Engines. – 2009. – Vol. 1, № 1. – С. 831-849. 9. Бондарь В. Н. Улучшение пусковых качеств дизеля с пониженной степенью сжатия путем использования электрических подогревателей воздуха на впуске / В. Н. Бондарь, А. А. Малоземов, В. С. Кукис // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 7. – С. 22-26. 10. Манзин М.Ю. К вопросу обеспечения надежного пуска дизельных двигателей в условиях низких температур / М.Ю. Манзин, А.А. Заикин, С.В. Рослов, В.В. Иванов // Вестник Сибирской государственной автомобильной академии. – 2017. – № 3(55). – С. 88-94. 11. Lock, J., Clasén, K., Sjöblom, J. et al. Cold-Start Modeling and On-Line Optimal Control of the Three-Way Catalyst. Emiss. Control Sci. Technol. 7, 321-347 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40825-021-00199-x>. 12. Neely, G., Sarlashkar, J., and Mehta, D., "Diesel Cold-Start Emission Control Research for 2015-2025 LEV III Emissions," SAE Int. J. Engines 6(2):1009-1020, 2013, <https://doi.org/10.4271/2013-01-1301>.

Bibliography (transliterated):

1. Abramchuk, F.I., Al'oxin, S.O., Byelov, M.L. ta in. (2012) Feasibility study of the need for state support in the implementation of innovation and investment project "Development and implementation in the production of small car diesel with a capacity of 100-175 hp dual-use (Slobozhansky diesel)" [Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проекту «Розроблення та впровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100-175 к.с. подвійного призначення (Слобожанський дизель)»], Kharkiv, 164 p. 2. Gritsyuk, A. V. (2012), "Experience in applying the method of the planned experiment in the study of transient processes of starting a diesel engine" [Опыт применения метода планируемого эксперимента в исследованиях переходных процессов пуска дизельного двигателя], Dvigateli vnutrennego sgoraniya. № 2, pp. 53-59. 3. Gricjuk, A.V., Levchenko, D.V. (2020), "Peculiarities of presentation of the moment of re-sistance of the diesel engine as an independent factor of influence on its starting qualities" [Особливості уявлення моменту опору дизельного двигуна як незалежного фактору впливу на його пускові якості], Dvigateli vnu-trennego sgoraniya, №2, p.p. 64-73. 4. Levchenko, D.V. (2021), "Selection and justification of mathematical plan 6 of acting experiment in the study of starting qualities of ice" [Вибір та обґрунтування математичного плану 6-ти факторного експерименту при дослідженні пускових якостей автомобільного дизеля], Dvigateli vnutrennego sgoraniya, №2, p.p. 86-92. 5. K.V. Korytchenko, O.V. Stahovskiy, A.V. Serpuhov, D.V. Bizonych (2016), "Mechanisms of influence of glow plugs on the working process in diesel engines" [Механізми впливу свічок накалювання на робочий процес в дизельних двигателях], Sistem obrobki informatsiyi, № 6 (143), pp. 205-210. 6. Anatskiy, O.O., Bobrytskiy, S.V. (2015), "Analysis of factors affecting starting characteristics and diesel engines assistive devices to facilitate pusk" ["Аналіз факторів впливаючих на пускові характеристики

ystyky dyze-lnykh dvyhunyv teplovoziv ta dopomizhnykh prystroiv dlia polehshennia pusku”], *Visnyk SNU im. V. Dalia*, № 1(218), pp. 272-276. 7. Yuanwang Deng, Huawei Liu, Xiaohuan Zhao, Jiaqiang E, Jianmei Chen (2018) *Effects of cold start control strategy on cold start performance of the diesel engine based on a comprehensive preheat diesel engine model*, *Applied Energy*, Volume 210, pp. 279-287 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.093>. 8. Pacaud, P., Perrin, H., Laget, O. (2009), “Cold Start on Diesel Engine: Is Low Compression Ratio Compatible with Cold Start Requirements?”, *SAE International Journal of Engines*, Vol. 1, No 1. pp. 831-849. 9. Bondar, V. N., Malozemov, A. A., Kukis, V. S. (2016), “Improving the starting performance of a diesel engine with a reduced compression ratio by using electric inlet air heaters” [Uluchshenie puskovykh kachestv dizelja s ponizhenoj stepenju schatija putem ispolzovanija

jelektriche-skih podogrevatelej vozduha na vpuske], No 7, pp. 22-26. 10. Manzin, M.Yu, Zaikin, A.A., Roslov, S.V., Ivanov, V.V. (2017), “To the question of ensuring reliable launch of diesel engines in the conditions of low temperatures” [“K voprosu obespecheniya nadezhnogo puska dizel’nykh dvigatelej v usloviyakh nizkikh temperatur”], *Vestnik SibADI*, № 3(55), pp. 88-94. doi: 10.26518/2071-7296-2017-3(55)-88-94. 11. Lock, J., Clasen, K., Sjöblom, J. et al (2021), *Cold-Start Modeling and On-Line Optimal Control of the Three-Way Catalyst*. *Emiss. Control Sci. Technol.* 7, 321–347 <https://doi.org/10.1007/s40825-021-00199-x>. 12. Neely, G., Sarlashkar, J., and Mehta, D. (2013), “Diesel Cold-Start Emission Control Research for 2015-2025 LEV III Emissions”, *SAE Int. J. Engines* 6(2):1009-1020, <https://doi.org/10.4271/2013-01-1301>.

Надійшла до редакції 16.06.2022 р.

Грицюк Олександр Васильович – доктор техн. наук, проф., професор кафедри ДВЗ Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, Україна, e-mail: dthkbd@ukr.net.

Левченко Денис Вадимович – аспірант кафедри ДВЗ Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, Україна, e-mail: denislev4enko@gmail.com.

FORMATION OF THE MATHEMATICAL PLAN OF EXPERIMENT IN AUTOMOBILE DIESEL STARTING QUALITIES RESEARCH

O.V. Grytsyuk, D.V. Levchenko

The article indicates a way to solve the problem of improving the starting qualities and reducing the smoke of domestic gases of domestic diesel 4DTNA1 with direct fuel injection at low ambient temperatures by optimizing the parameters and elements of the starting system and idling by rational algorithms. To solve this problem, the need to conduct an experimental study of the starting qualities of an automobile diesel engine and to form a mathematical plan of the experiment for the next calculation study is substantiated. The basic provisions concerning the organization of multifactor experimental research of starting qualities of the automobile diesel are covered. The description and data of the characteristic of the physical model previously created for experimental research on the basis of the domestic automobile vortex chamber diesel 4DTNA are made. The peculiarities and advantages of the created physical model in relation to traditional solutions for research of starting qualities of automobile engines, in particular in use of external loading for reproduction of influence on motor oil of low temperature in the conditions of difficult access to climatic chambers are resulted. The choice of the vortex chamber sample of the physical model for conducting research of start-up due to perspective, reduced by 1-1.5 units, degree of compression and possibility of qualitative research of influence of pre-start heating of volume of the combustion chamber by a glow plug is substantiated. The actual values of the values of the selected 6, the most influential on the start-up process, linearly independent factors during the experimental study in accordance with the adopted plan with 77 test cold starts. It is noted that the actual result of the establishment of certain controlled factors is random with a certain error at the boundaries of the exact value in accordance with the orthogonal plan of the experiment. This variation of real values requires the use of a special mathematical apparatus implemented by the authors in the software product Approximation_LSM, when analyzing the results of a 6-factor experimental study.

Key words: diesel engine start; multifactorial study; experiment, physical model; design of experiment.