

Відомості про авторів

Кобзарук Олександр Васильович – к.т.н., професор ОНМУ, доцент кафедри «Технологія матеріалів», Одеський національний морський університет.

Смажило Богдан Васильович – доцент ОНМУ, доцент кафедри «Технологія матеріалів», Одеський національний морський університет.

Бабінець Валерій Іванович – супервайзер Іллічівського судноремонтного виробництва.

Information about authors

Kobzaruk Olexander Vasyliovych – Candidate of Technical Sciences, Professor ONMU, Associate Professor of the Department of Materials Technology, Odessa National Maritime University.

Smazhylo Bogdan Vasyliovych – Associate Professor of ONMU, Associate Professor of the Department of Materials Technology, Odessa National Maritime University.

Babinets Valeriy Ivanovych – Supervisor of Illichivsk Ship Repair Production.

УДК 621.436.13

ФОРМУВАННЯ ЗАДАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОФОРСОВАНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СХЕМИ ДВОСТУПЕНЕВОГО НАДДУВУ

С. С. Кравченко, М. С. Шелестов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

FORMATION OF THE SET CHARACTERISTICS AND BASIC PARAMETERS OF HIGHLY POWERED DIESELS WHEN IMPLEMENTING A TWO-STAGE CHARGE

S. S. Kravchenko, M. S. Shelestov

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СХЕМЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО НАДДУВА

С. С. Кравченко, М. С. Шелестов

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Форсування двотактних двигунів типу ДН12/2·12 за величиною середнього ефективного тиску *ре* потребує відповідного підвищення тиску наддуву, що викликає необхідність удосконалення систем наддуву. При форсуванні двотактних дизелів в першу чергу потрібно враховувати

особливості наддуву двотактних двигунів, а при формуванні заданих характеристик високофорсованого дизеля – характеристики базових двигунів.

Підвищення середнього ефективного тиску шляхом застосування газотурбінного наддуву двотактного двигуна обмежується допустимою тепловою та механічною напруженістю основних деталей. Перш за все це відноситься до теплонапруженості поршневої групи.

Основна складність газотурбінного наддуву двотактного двигуна полягає в тому, що при використанні вільного турбокомпресора процес газообміну в циліндрі вимагає великого перепаду тисків продувочного повітря. Це викликає зайву витрату потужності турбіни. Крім того, для зниження теплової напруженості необхідна подача в циліндр більшої кількості робочого повітря, ніж в чотиритактному двигуні. Внаслідок цього температура відпрацьованих газів двотактного двигуна нижче, ніж у чотиритактного. Це призводить до того, що турбіна має нижчу потужність.

Крім того, якщо потужність вільного турбокомпресора виявляється достатньою для стиснення необхідного продувочного повітря, то через підвищений перепад тисків у циліндрі під час процесу продувки і зниженої температури випускних газів потужність газової турбіни може не забезпечити умов наддуву двотактного двигуна.

Остання проблема газотурбінного наддуву з вільним газовим приводом турбіни двотактного двигуна пов'язана з тим, що, на відміну від чотиритактного, цей двигун не може самостійно (за допомогою свого поршня) проводити зміну заряду робочого газу в циліндрі. Тому пуск двигуна і робота його на малих навантаженнях викликають труднощі.

Двигун внутрішнього згоряння може нормально і тривало працювати, якщо його робочий цикл відбувається з допустимим коефіцієнтом надлишку повітря при згорянні α , тобто при певному складі суміші повітря з поданим в циліндр паливом. Тому при проведенні розрахунково-експериментальних досліджень потрібно дотримуватись заданого, на рівні базового двигуна, коефіцієнту надлишку повітря. Виконано розрахунково-експериментальне дослідження, яке показує, що формування заданих характеристик і основних параметрів високофорсованого дизеля ДН12/2·12 можливо лише за умови забезпечення рівня показників повітропостачання, що наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники системи повітропостачання високофорсованого двотактного дизеля при роботі за зовнішньою характеристикою

Ne, кВт	n, хв ⁻¹	Mкр, Н·м	α	Gв, кг/с	p _s , МПа	π_k
1100	2600	4040	2,02	2,01	0,340	3,5
1100	2400	4377	1,94	1,87	0,344	3,5
1100	2200	4775	1,91	1,74	0,351	3,6
1089	2000	5200	1,73	1,61	0,360	3,7
982	1830	5125	1,83	1,55	0,385	4,0

Таким чином, для забезпечення заданої зовнішньої швидкісної характеристики на режимі максимальної потужності (1100 кВт) тиск наддуву повинен становити 0,34–0,35 МПа, витрата повітря 1,9–2,0 кг/с, на режимі максимального крутного моменту – 0,36 МПа та 1,6 кг/с, відповідно.

У цьому випадку є доцільним застосування багатоступеневої системи наддуву (змішаний наддув) з приводним компресором та вільним турбокомпресором (ТКР) з регулюванням як турбіни, так і компресору.

Модернізація системи повітропостачання високофорсованого дизеля ДН12/2·12 виконана з урахуванням положень, що наведені вище.

Двоступенева система наддуву складається з приводного компресору та вільного турбокомпресору, які з'єднані послідовно (рис. 1) та працюють окремо або разом в залежності від режиму роботи двигуна.

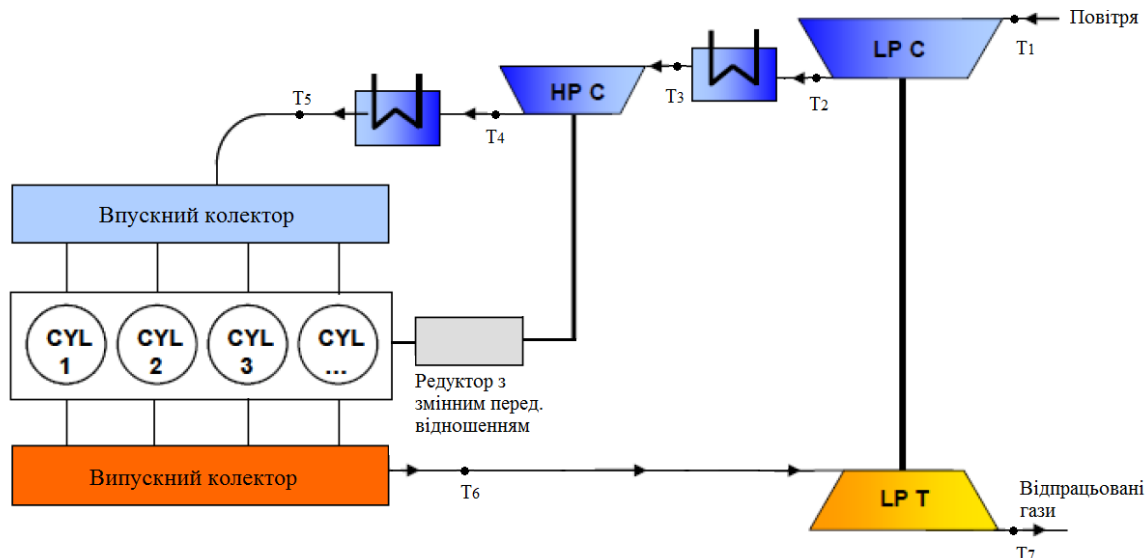


Рис. 1 – Принципова схема системи двоступеневого наддуву високофорсованого дизеля: 1 – компресор низького тиску; 2 – компресор високого тиску; 3 – охолоджувач наддувального повітря; 4 – механічний зв'язок компресору з колінчастим валом двигуна; $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$ – розрахункові точки

Регулювання системи здійснюється шляхом керування передаточного відношення приводу компресору високого тиску (КВТ) та зміною прохідного перетину соплового апарату турбіни (т.з. соплове регулювання). В залежності від режиму роботи працює відповідний компресор високого/низького тиску. На режимі близького до максимального крутного моменту вони працюють разом. Турбокомпресор низького тиску (НТ) працює в діапазоні режимів від максимального крутного моменту до максимальної потужності, КВТ (привідний нагнітач) – в області низьких частот обертання колінчастого вала до максимального крутного моменту.

При пуску та роботі двигуна до режиму максимального крутного моменту повітря стискається в приводному компресорі ВТ, а через компресор НТ повітря проходить без істотного стиснення. КВТ з низькою інерцією дозволяє отримати бажаний тиск наддуву, починаючи з частот обертання холостого ходу з короткою затримкою.

Зі збільшенням частоти обертання повітря попередньо стискається в компресорі НТ і достискається в КВТ. У цій області здійснюється двоступеневий стиск з невеликим ступенем підвищення тиску в кожній із ступенів. При частотах обертання більш 2000 хв^{-1} потік повітря перепускається повз КВТ турбокомпресора, оскільки в цьому випадку швидкість повітря на вході в компресор перевищує швидкість звуку (відбувається т.з. «запирання»).

У цій області вся робота розширення спрацьовується на турбіні турбокомпресору низького тиску і повітря стискається тільки в компресорі НТ.

Реалізація системи наддуву можлива лише за умови узгодження характеристики дизеля з витратними характеристиками лопаточних машин та розподілу сумарного ступеня підвищення тиску між приводним компресором та компресором ТКР.

Розрахунково-експериментальне дослідження розподілу ступенів підвищення тиску двоступеневої системи наддуву високофорсованого дизеля виконано для режиму, що є близьким до максимального крутного моменту (на якому працюють обидва компресори).

Розрахунок виконаний за розробленою математичною моделлю, яка включає термодинамічні залежності для розрахунку температури і тиску після кожного елементу системи (рис. 1) для 6 варіантів при різних значеннях ККД лопаточних машин та тиску після КНТ (табл. 3).

У перших трьох випадках задані постійними значення ККД для КВТ, КНТ та турбіни. Тиск в т. 2 змінюється для отримання необхідних критичних значень. В інших випадках змінюємо ККД компресорів та турбіни, таблиця 2.

Якщо розглядати 6 варіантів розрахунку, найбільш оптимальними є варіанти 3 та 4, оскільки в цих випадках спостерігається допустима температура відпрацьованих газів перед турбіною. Ці результати можуть бути використані для вибору типорозмірів ТРК та компресору високого тиску.

Висновки. За результатами виконаного розрахункового експерименту можна зазначити, що для забезпечення заданих характеристик високофорсованого двотактного двигуна ДН12/2·12 потрібно підібрати типорозмір лопаточних машин, які будуть задовольняти вимогам:

– компресор високого тиску повинен забезпечувати максимальну витрату повітря $G_{v\max} = 1,61$ кг/с при $\pi_k = 2,7$.

– характеристика компресору низького тиску (вільного ТКР) повинна лежати в області значень $G_{v\min} = 1,5$ кг/с при $\pi_k = 1,35$ та $G_{v\max} = 2,1$ кг/с при $\pi_k = 3,5$.

Таблиця 2 – Постійні, що задаються

	ККД компресору НТ, $\eta_{нд,к}$	ККД компресору ВТ, $\eta_{вд,к}$	ККД турбіни вільного ТКР, η_T	Тиск в т. 2, P_2 , МПа	Тиск в т. 4, P_4 , МПа
Варіант 1	0,81	0,81	0,8	0,22	0,36
Варіант 2	0,81	0,81	0,8	0,24	0,36
Варіант 3	0,81	0,81	0,8	0,27	0,36
Варіант 4	0,79	0,79	0,79	0,27	0,36
Варіант 5	0,76	0,76	0,76	0,27	0,36
Варіант 6	0,73	0,73	0,73	0,27	0,36

Таблиця 3 – Результати розрахункового дослідження при роботі двигуна на режимі максимального крутного моменту

Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
T1, К	298	298	298	298	298	298
p1, МПа	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103
T2, К	391	402	418,8	421,92	426	432
p2, МПа	0,22	0,24	0,27	0,27	0,27	0,27
T3, К	342	347	353,5	354,77	356	358
p3, МПа	0,215	0,235	0,267	0,2669	0,266	0,266
T4, К	409	402	392,5	394,8	398	402
p4, МПа	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
T5, К	349	346	343	343,9	345	347
p5, МПа	0,355	0,355	0,3557	0,3557	0,355	0,355
T6, К	1021	1013	970	973,3	977	981
p6, МПа	0,35	0,35	0,35	3,507	0,35	0,35
T7, К	941	923	866,6	866,6	866	866
p7, МПа	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103
Витрата повітря, G_v , кг/год	5542	5586	5649,5	5634,1	5609	5583
Витрата палива, G_m , кг/год	224,33	224,33	224,33	224,33	224,33	224,33
Витрата ВГ, G_{v2} , кг/год	5766	5810	5873,8	5858,43	5833	5807

Література

1. Guttorm N Danielsen. Modeling and Analysis of a 2-Stage Turbocharger, NTNU, Det skapende universitet, Master thesis, 2015. – 76 p.
2. Ennio Codan, 2-Stage Turbocharging – Flexibility for Engine Optimisation, Paper No. 293 / Ennio Codan, Christoph Mathey, Adrian Rettig // Conseil international des machines a combustion, 2012. – 16 p.

Відомості про авторів

Кравченко Сергій Сергійович – канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». ORCID: 0000-0003-3250-8645, e-mail: kravc4enkoser@gmail.com.

Шелестов Максим Сергійович – аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». ORCID: 0000-0001-9003-1422, e-mail: maks.shelestow@gmail.com.

Information about authors

Kravchenko Serhii Serhiiovych – Ph.D., Associate Professor at the “Internal Combustion Engines” Department, National Technical University “Kharkiv

Polytechnic Institute”. ORCID: 0000-0003-3250-8645, e-mail: kravc4enkoser@gmail.com.

Shelestov Maxim Serhiiovych – Post-Graduate Student of the “Internal Combustion Engines” Department, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. ORCID: 0000-0001-9003-1422, e-mail: maks.shelestow@gmail.com.

Сведения об авторах

Кравченко Сергей Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». ORCID: 0000-0003-3250-8645, e-mail: kravc4enkoser@gmail.com.

Шелестов Максим Сергеевич – аспирант кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». ORCID: 0000-0001-9003-1422, e-mail: maks.shelestow@gmail.com.

УДК 629.5:622.691.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУИЗНЫХ ЛАЙНЕРОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ

А. К. Чередниченко, М. Р. Ткач, В. С. Митенкова, Н. В. Коробейникова
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
(Николаев)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КРУЇЗНИХ ЛАЙНЕРІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОХІМІЧНИХ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ

О. К. Чередніченко, М. Р. Ткач, В. С. Мітенкова, Н. В. Коробейнікова
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Миколаїв)

INCREASING OF ENERGY EFFICIENCY OF CRUISE SHIPS BY THERMOCHEMICAL HEAT RECOVERY USE

O. K. Cherednichenko, M. R. Tkach, V. S. Mitienkova, N. V. Korobyeynikova
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv)

Практика проектирования пропульсивных комплексов пассажирских судов показывает, что наибольшее распространение получили судовые энергетические установки (СЭУ) с электродвижением [1, 2]. При этом на современных круизных лайнерах преобладают единые энергетические установки с гребными винто-рулевыми комплексами (ГВРК) типа podded propulsors. Использование подобных схемных решений позволяет обеспечить выработку электроэнергии для пропульсивного комплекса и общесудовых