

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА ПРИ ГОРЕНИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАПРЯЖЕННОСТИ ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ РЕЖИМОВ

В. Л. Конюков

*Керченский государственный морской технологический университет,
Керчь, Российская Федерация*

Характерной особенностью сильно форсированных по наддуву дизелей, работающих по винтовой характеристике, является уменьшение коэффициента избытка воздуха при горении с понижением мощности. Уменьшение воздушного заряда цилиндра и его располагаемой работы требует большей цикловой подачи топлива для обеспечения заданной мощности, что негативно влияет на экономичность двигателя. Повысить давление наддува и массу воздушного заряда цилиндра можно путем воздействия на регулируемый сопловой аппарат турбонаддувочного агрегата. При этом имеет место существенное изменение параметров газа по циклу дизеля, что приводит к изменениям показателей тепловой и механической напряженности. Приведены результаты теоретических исследований показателей и критериев тепловой и механической напряженности судового двухтактного двигателя внутреннего сгорания, работающего в широком диапазоне эксплуатационных режимов с постоянным коэффициентом избытка воздуха при горении. Непосредственное управление расходом воздуха на режимах долевых нагрузок выполнялось поворотом лопаток регулируемого соплового аппарата турбонаддувочного агрегата. Исследования дизеля были проведены теоретически для двух вариантов: исходный вариант (без регулируемого соплового аппарата) и с непосредственным управлением расходом воздуха при помощи регулируемого соплового аппарата, результаты обрабатывались в зависимости от относительной мощности режимов долевых нагрузок дизеля. Проиллюстрированы графики зависимости угла поворота лопаток соплового аппарата турбонаддувочного агрегата, относительное изменение температуры газа за цилиндром, средней по циклу температуры рабочего тела, среднего теплового потока, относительное изменение критерия теплонапряженности поршня, критерия теплонапряженности цилиндра, изменение среднего по циклу давления рабочего тела, степени повышения давления рабочего тела при горении, максимальной скорости нарастания давления в зависимости от нагрузки дизеля.

Ключевые слова: турбонаддувочный агрегат, регулируемый сопловой аппарат, номинальный режим, параметры рабочего тела, тепловая напряженность, расход воздуха.

Для цитирования: Конюков В. Л. Влияние коэффициента избытка воздуха при горении на показатели напряженности двухтактного дизеля в широком диапазоне режимов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 3. С. 54–63. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-54-63.

Введение

Исследования двигателей внутреннего сгорания с непосредственным управлением расходом воздуха на режимах долевых нагрузок проиллюстрировали существенную зависимость термодинамических эксплуатационных параметров от коэффициента избытка воздуха при горении [1]. Давление наддува и, следовательно, расход воздуха во многом определяются характеристиками турбонаддувочного агрегата (ТНА). Повышение давления наддува на режимах долевых нагрузок судовых двигателей внутреннего сгорания позволяет повысить их экономичность. Такое управление эксплуатационными параметрами является актуальным для дизелей, работающих в широком диапазоне режимов, и исследования в этом направлении приведены в работе [2].

Использование регулируемого соплового аппарата (РСА) турбины ТНА позволяет оперативно и экономично воздействовать на характеристики газоздушного тракта дизеля [3, 4]. При электронном управлении поворотом лопаток РСА можно расширить диапазон характеристик ТНА для конкретной мощности двигателя, который ограничивается тепловой и механической напряженностью дизеля [5].

Целью настоящей работы является анализ показателей и критериев тепловой и механической напряженности судового двухтактного дизеля в широком диапазоне нагрузок при его работе с постоянным коэффициентом избытка воздуха при горении, поддерживаемого поворотом лопаток РСА ТНА, на режимах долевых нагрузок.

Показатели тепловой и механической напряженности

При уменьшении угла установки лопаток РСА на режимах долевых нагрузок увеличивается давление рабочего тела по циклу двухтактного дизеля и повышается его экономичность [1]. При этом изменяются показатели тепловой и механической напряженности дизеля, влияющие на его надежность и ресурс. Для оценки влияния коэффициента избытка воздуха при горении на показатели тепловой и механической напряженности требуется провести дополнительные исследования.

Для сравнительной оценки уровней теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы при изменении его режима работы используется средний тепловой поток, который может быть определен по выражению [6]

$$q_c = \alpha_{г\text{ ср}} (T_{г\text{ ср}} - T_{ст}), \quad (1)$$

где $\alpha_{г\text{ ср}}$ – средний коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, который можно вычислить по формуле Эйхельберга [7]; $T_{г\text{ ср}}$ – средняя температура газов за время цикла; $T_{ст}$ – средняя температура стенки цилиндра со стороны газов.

Параметры q_c и $T_{ст}$ в литературных источниках получили название условных критериев теплонапряженности.

Теплонапряженность поршня можно оценивать критерием, полученным на основе положений гидродинамической теории теплопередачи и статистической обработки экспериментальных данных [7]:

$$K_{п} = b c_m^{0,5} \left(\frac{D}{\eta_n p_s} \right)^{0,38} \left(p_e g_e \frac{T_s}{T_0} \right)^{0,88}, \quad (2)$$

где b – коэффициент, учитывающий тактность двигателя ($b = 1,0$ для четырехтактного двигателя; $b = 1,78$ – для двухтактного двигателя); D – диаметр цилиндра; η_n – коэффициент наполнения цилиндра; p_s , T_s – давление и температура воздуха на входе в цилиндр; p_e – среднее эффективное давление; g_e – удельный эффективный расход топлива; c_m – средняя скорость движения поршня.

Критерий $K_{п}$ имеет линейную взаимосвязь с температурами отдельных точек поршня, которая сохраняется на любом режиме. По характеру изменения $K_{п}$ можно судить об изменении температуры конкретных точек поршня, используя результаты термометрирования одного двигателя из серии.

Теплонапряженность цилиндровой втулки дизеля можно оценивать критерием, предложенным С. В. Камкиным [8]:

$$K_c = p_i n \delta T_s / \eta_n p_s, \quad (3)$$

где n – частота вращения коленчатого вала, об/мин; δ – толщина стенки цилиндра.

Для оценки теплонапряженности дизеля на практике широко используют температуру отработавших газов, которая позволяет контролировать тепловое состояние каждого цилиндра в отдельности [8].

Механическая напряженность дизеля определяется показателями, которые учитывают силы давления газов и инерционные силы движущихся масс: максимальное давление сгорания p_z ; среднее давление за время цикла $p_{ср}$; степень повышения давления при сгорании топлива $\lambda = p_z / p_{ср}$; скорость нарастания давления $dp / d\phi$ [6]. Наибольшее внимание должно уделяться давлению p_z , превышение которого в процессе эксплуатации не допускается.

Методы и материалы исследования

Предлагаемая работа является логическим продолжением исследований, представленных в работе [1]. С целью сопоставления полученных показателей напряженности дизеля и его экс-

плуатационных параметров, представленных в работе [1], напряженность дизеля на режимах долевых нагрузок исследовалась при одном и том же коэффициенте избытка воздуха для горения α , соответствующим номинальному режиму.

Объектом исследования в предлагаемой работе является судовой двухтактный дизель с газотурбинным наддувом 7S50MC, который используется в качестве главного двигателя на морских судах. Номинальные характеристики дизеля: эффективная мощность – 10 010 кВт; число цилиндров – 7; частота вращения коленчатого вала – 130 об/мин; диаметр поршня – 0,5 м; ход поршня – 1,91 м; давление наддува – 0,37 МПа.

Исследования дизеля проводились теоретически для двух вариантов: исходный вариант (без РСА) и вариант с непосредственным управлением расходом воздуха при помощи РСА. Результаты исследований обрабатывались в зависимости от относительной мощности режимов долевых нагрузок дизеля $\bar{N}_e = N_e / N_{e0}$, где N_e – мощность дизеля на режиме долевой нагрузки, N_{e0} – номинальная мощность дизеля.

Как подтвердили исследования исходного варианта дизеля, уменьшение мощности от 100 до 25 % вызвало снижение коэффициента избытка воздуха для горения на 38 % [1], что является характерным для дизелей с повышенным давлением наддува.

В настоящей работе относительное изменение исследуемых параметров и критериев определялось по выражению

$$\delta \bar{B} = (B - B_0) / B_0,$$

где B – значение исследуемой величины на режиме долевой нагрузки; B_0 – значение исследуемой величины на режиме полной мощности $\bar{N}_e = 1,0$.

Зависимость угла поворота лопаток РСА для обеспечения одного и того же значения α на режимах долевых нагрузок приведена на рис. 1.

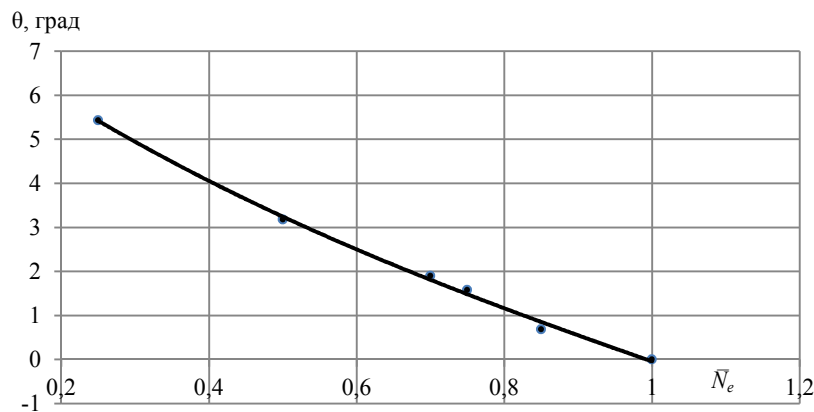


Рис. 1. Зависимость угла поворота лопаток соплового аппарата ТНА для обеспечения $\alpha = \text{const}$ от нагрузки дизеля

Следует отметить, что при повороте лопаток РСА угол их установки уменьшался. Снижение площади проходного сечения соплового аппарата ТНА приводит к увеличению давления газа перед турбиной и, как следствие, повышению ее мощности. При этом в результате роста мощности компрессора повышалось давление воздуха перед цилиндром. С увеличением давления воздушного заряда цилиндра повышается его располагаемая работа, поэтому для обеспечения заданной мощности двигателя требуется меньшая цикловая подача топлива, что способствует увеличению экономичности дизеля.

Относительная экономия топлива при использовании поворотных лопаток ТНА, обеспечивающих постоянный коэффициент избытка для горения при $\bar{N}_e = 0,5$, составила 6 % [1].

Как было отмечено выше, в эксплуатации дизелей в качестве косвенного показателя теплонпряженности широко используют температуру отработавших газов. На рис. 2 представлена зависимость относительного изменения температуры газа за цилиндром (без учета смешения с продувочным воздухом) от нагрузки дизеля для исходного варианта и варианта с постоянным коэффициентом избытка воздуха для горения на всех исследуемых режимах ($\alpha = \text{const}$).

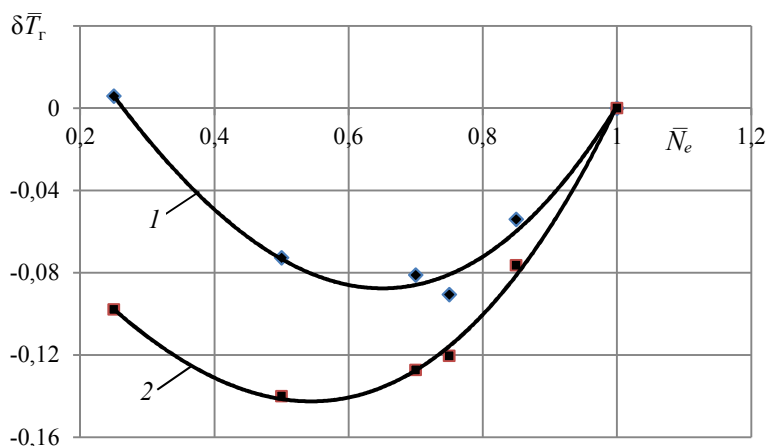


Рис. 2. Относительное изменение температуры газа за цилиндром в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Во всем диапазоне исследуемых режимов работы дизеля поворот лопаток РСА с целью обеспечения $\alpha = \text{const}$ приводит к заметному уменьшению температуры газа за цилиндром. При $\bar{N}_e = 0,5$ T_g снизилась на 7 % относительно исходного варианта. Такое снижение температуры газа за цилиндром вызвано уменьшением максимальной температуры цикла T_z , которая при $\bar{N}_e = 0,5$ понизилась на 18 % [1]. Уменьшение максимальной температуры цикла при использовании РСА вызвано снижением цикловой подачи топлива и увеличением коэффициента избытка воздуха при горении.

Уменьшение температуры рабочего тела в характерных точках цикла, вызванного поворотом лопаток РСА, приводит к снижению средней температуры рабочего тела за время цикла. На рис. 3 приведены зависимости относительного изменения средней по времени цикла температуры рабочего тела от нагрузки дизеля.

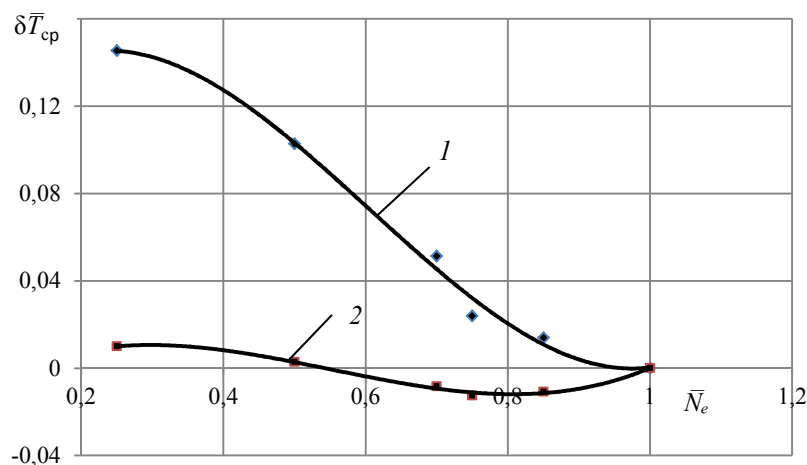


Рис. 3. Относительное изменение средней по циклу температуры рабочего тела в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Уменьшение T_z , T_g , T_{cp} косвенно свидетельствует о снижении теплонапряженности двигателя при его работе с постоянным коэффициентом избытка воздуха для горения на режимах долевых нагрузок относительно исходного варианта.

Понижение T_{cp} согласно выражению (1) приводит к уменьшению среднего теплового потока, который позволяет оценить уровень теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы. На рис. 4 приведена зависимость среднего теплового потока от нагрузки дизеля.

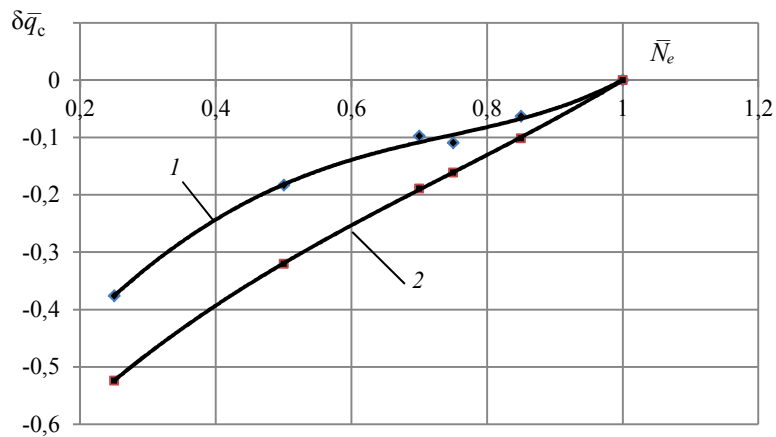


Рис. 4. Относительное изменение среднего теплового потока в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Уменьшение мощности дизеля от номинальной до 50 % вызывает снижение q_c на 14 % относительно исходного варианта.

Теплонапряженность поршня оценивалась критерием, вычисленным по выражению (2), зависимость которого от нагрузки дизеля представлена на рис. 5.

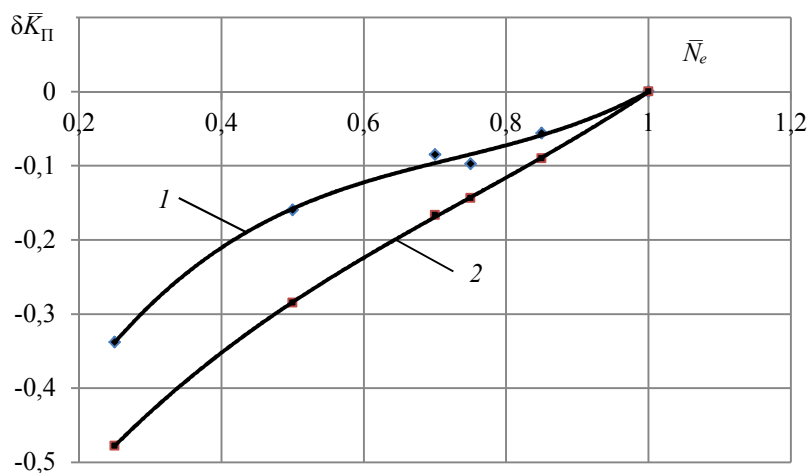


Рис. 5. Относительное изменение критерия теплонапряженности поршня в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

В варианте с РСА, обеспечивающим постоянство коэффициента избытка воздуха при горении топлива на режимах долевых нагрузок, уменьшение мощности дизеля от номинального значения до 50 % приводит к снижению критерия K_Π на 12 % по сравнению с исходным вариантом. Учитывая физическую сущность этого показателя, можно предположить, что значения температур металла поршня в характерных его точках снизятся при этом также на 12 %.

Уровень теплонапряженности цилиндровой втулки оценивался критерием K_c , вычисленным по выражению (3), зависимость которого от нагрузки дизеля представлена на рис. 6.

В исходном варианте понижение мощности дизеля до $\bar{N}_e = 0,5$ сопровождается небольшим увеличением K_c (до 6 %) относительно режима номинальной мощности. В варианте с РСА имеет место монотонное уменьшение K_c , которое при $\bar{N}_e = 0,5$ понижается относительно исходного варианта на 26 %.

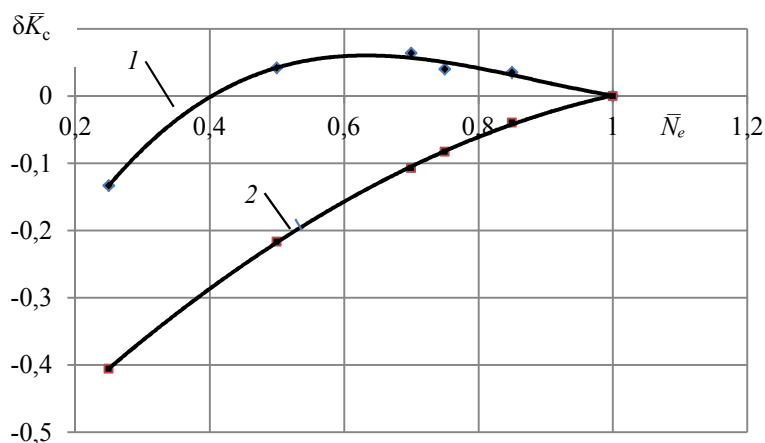


Рис. 6. Относительное изменение критерия теплонапряженности цилиндра в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Механическая напряженность дизеля оценивалась максимальным давлением рабочего тела p_z , средним давлением по времени цикла p_{cp} , средним эффективным давлением p_e , степенью повышения давления при сгорании p_z/p_c , максимальной скоростью нарастания давления $dp/d\phi$.

Понижение нагрузки дизеля приводит к уменьшению p_z как в исходном варианте, так и в варианте с поворотными лопатками соплового аппарата, обеспечивающими $\alpha = \text{const}$ [1]. Однако в последнем варианте максимальное по циклу дизеля давление понижается менее интенсивно, снижаясь на 17 % при $\bar{N}_e = 0,5$ против 30 % исходного варианта.

Повышение давления рабочего тела в характерных точках цикла дизеля в варианте с РСА вызывает увеличение среднего давления по циклу дизеля относительно исходного варианта. Зависимость среднего по циклу давления рабочего тела от нагрузки дизеля приведена на рис. 7.

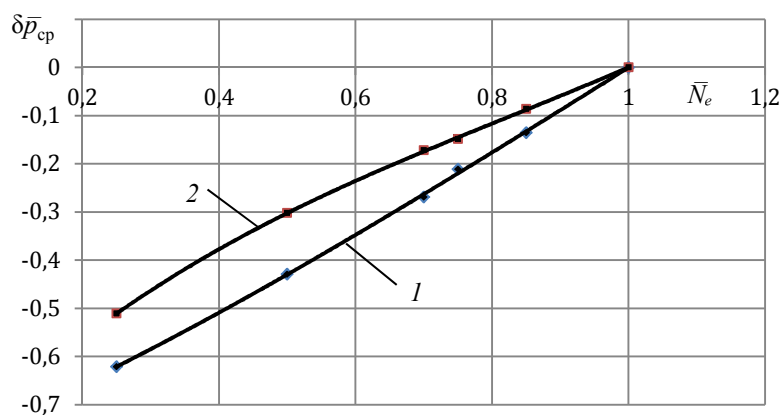


Рис. 7. Относительное изменение среднего по циклу давления рабочего тела в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Уменьшение нагрузки дизеля приводит к снижению p_{cp} , однако в варианте с РСА такое снижение происходит менее интенсивно, чем в исходном варианте.

При работе ТНА с неподвижными лопатками соплового аппарата (исходный вариант) снижение нагрузки дизеля приводит к росту степени повышения давления при сгорании $\lambda = p_z/p_c$. Уменьшение нагрузки дизеля от номинального значения до $\bar{N}_e = 0,5$ вызвало увеличение степени повышения давления при сгорании (λ) на 37 % (рис. 8).

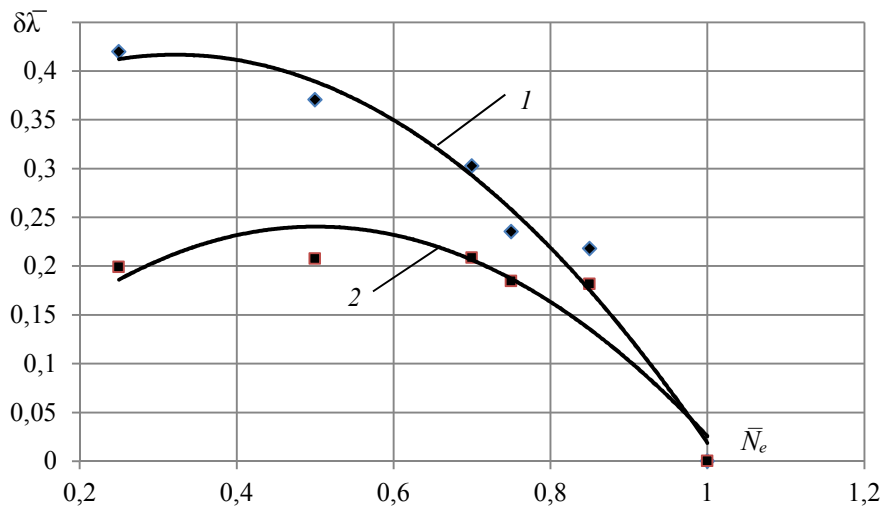


Рис. 8. Относительное изменение степени повышения давления рабочего тела при горении в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

Увеличение λ можно объяснить более интенсивным снижением p_c по сравнению с p_z при уменьшении мощности дизеля, что является характерным для дизелей, работающих по винтовой характеристике.

При повороте лопаток РСА в сторону уменьшения угла их установки с целью обеспечения $\alpha = \text{const}$ интенсивность снижения p_c уменьшается, что вызывает понижение λ . При $\bar{N}_e = 0,5$ в варианте с поворотными лопатками РСА относительное увеличение λ , как следует из рис. 8, составляет 21 %.

Относительное изменение максимальной скорости нарастания давления $dp/d\varphi$ представлено на рис. 9.

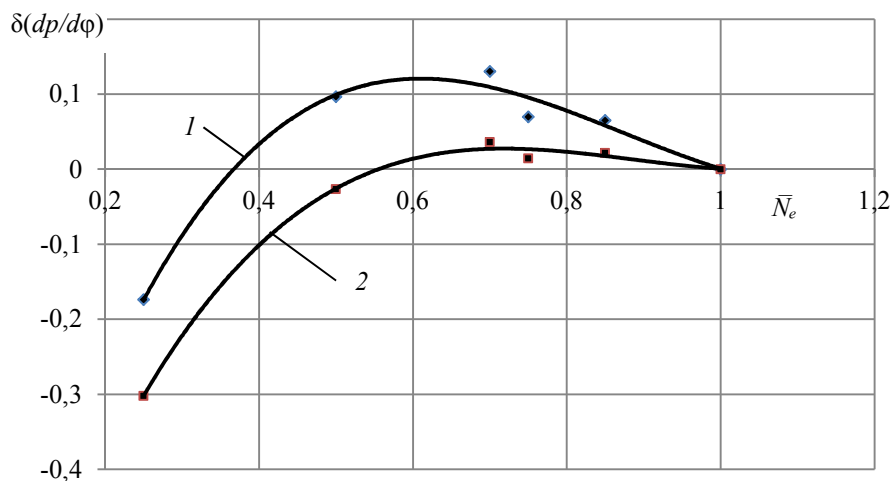


Рис. 9. Относительное изменение максимальной скорости нарастания давления в зависимости от нагрузки дизеля: 1 – исходный вариант; 2 – $\alpha = \text{const}$

В исходном варианте с уменьшением мощности дизеля от 100 до 70 % $dp/d\varphi$ повысилась на 12 %, а в варианте $\alpha = \text{const}$ такое увеличение составило 3 %. Дальнейшее понижение мощности проиллюстрировало монотонное уменьшение $dp/d\varphi$ как в исходном варианте, так и в варианте с РСА.

Анализ критериев механической напряженности подтвердил, что поддержание постоянным коэффициента избытка воздуха для горения на режимах долевых нагрузок снижает дина-

мические показатели механической напряженности. При этом статические показатели механической напряженности в варианте с РСА повышаются, но во всем диапазоне исследуемых режимов не превышают соответствующих показателей номинального режима.

Результаты исследования и их обсуждение

Дизель 7S50MC относится к судовым двигателям с высокой степенью форсировки по наддуву. Характерной особенностью таких дизелей является уменьшение коэффициента избытка воздуха для горения с понижением мощности при его работе по винтовой характеристике. Непосредственно воздействовать на расход воздуха двигателя можно с помощью РСА ТНА, изменяя при этом коэффициент избытка воздуха для горения.

Проведенные ранее исследования [1] доказали, что, повышая коэффициент избытка воздуха для горения на режимах долевых нагрузок, можно улучшить эксплуатационные термодинамические показатели дизеля. С целью конкретизации исследования проводились с одним и тем же коэффициентом избытка для горения воздуха на всех режимах долевых нагрузок. Такой подход позволил при нагрузке дизеля $\bar{N}_e = 0,5$ снизить удельный эффективный расход топлива на 6 %.

При изменении угла установки лопаток РСА ТНА дизель переходит на новый эксплуатационный режим по причине изменения параметров состояния рабочего тела по циклу дизеля. При этом изменяются критерии и показатели тепловой и механической напряженности, влияющие на надежность дизеля. В настоящей работе выполнены исследования критериев и показателей тепловой и механической напряженности на режимах долевых нагрузок исходного варианта и варианта с РСА, обеспечивающим один и тот же коэффициент избытка воздуха для горения на режимах долевых нагрузок.

Заключение

Поворот лопаток РСА для обеспечения $\alpha = \text{const}$ во всем диапазоне исследуемых режимов работы дизеля вызывает снижение температуры рабочего тела по циклу. При $\bar{N}_e = 0,5$ уменьшение температуры газа за цилиндрами двигателя составляет 7 % относительно исходного варианта. Также при этом понизился удельный тепловой поток через стенки цилиндра к охлаждающей жидкости на 14 % по сравнению с исходным вариантом.

Увеличение коэффициента избытка воздуха при горении на долевых нагрузках вызывает снижение теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы: при $\bar{N}_e = 0,5$ критерий теплонапряженности поршня снизился на 14 %, а критерий теплонапряженности цилиндра – на 26 % по сравнению с исходным вариантом.

Увеличение коэффициента избытка воздуха при горении на режимах долевых нагрузок вызывает повышение давления рабочего тела по циклу дизеля, что приводит к повышению статических показателей механической напряженности по сравнению с исходным вариантом. Следует отметить, что абсолютные значения давлений на долевых нагрузках не превышали соответствующих значений на номинальном режиме. При этом динамические показатели механической напряженности на режимах долевых нагрузок уменьшились.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Конюков В. Л.* Анализ эксплуатационных характеристик дизеля 7S50MC при непосредственном управлении расходом воздуха // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2020. № 1. С. 72–82. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-72-82.
2. *Turbocharger* aftermarket Honeywell Garrett. Garrett variable geometry turbochargers: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003. 32 p.
3. *Варивода О. А., Васин О. Е., Резвин Б. С.* Экономический эффект от оптимизации программы регулирования в приводных ГТУ // Газотурбинные технологии. 2001. № 4. С. 32–33.
4. *Орлин А. С.* Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.
5. *Гаврилов В. С., Камкин С. В., Шмелев В. П.* Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. М.: Транспорт, 1985. 288 с.
6. *Самсонов В. И., Худов Н. И.* Двигатели внутреннего сгорания морских судов. М.: Транспорт, 1990. 368 с.

7. Возницкий И. В., Иванов Л. А. Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания. М.: Транспорт, 1971. 191 с.
8. Олейников Б. Н. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности. М.: Агропромиздат, 1986. 269 с.

Статья поступила в редакцию 29.06.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Коныков Вячеслав Леонтьевич – Россия, 298309, Керчь; Керченский государственный морской технологический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовых энергетических установок; seykgmtu@gmail.com.



INFLUENCE OF EXCESSIVE AIR COEFFICIENT DURING COMBUSTION ON INTENSITY OF TWO-STROKE DIESEL ENGINE OPERATION IN WIDE RANGE OF MODES

V. L. Konyukov

*Kerch State Maritime Technological University,
Kerch, Russian Federation*

Abstract. The article describes the specific features of the forced diesel engines operating on a helical characteristic. One of them is a decreasing coefficient of excessive air during combustion with a decreasing power. Reducing the air charge of the cylinder and its available work require a greater cyclic supply of fuel to provide a given power, which affects the engine efficiency. It is possible to increase the boost pressure and the mass of the air charge of the cylinder by acting on the adjustable nozzle apparatus of a turbo-charging unit. In this case, gas parameters significantly change over the diesel cycle, which leads to changes in the indicators of thermal and mechanical tension. There have been presented the results of theoretical studies of indicators and criteria of thermal and mechanical tension of a marine two-stroke internal combustion engine operating in a wide range of modes with a constant coefficient of excessive air during combustion. Direct control of air flow at shared load modes was performed by turning the blades of an adjustable nozzle apparatus of a turbo-charging unit. The study of a diesel engine was carried out theoretically for two options: the original version (without adjustable nozzle unit) and under direct control of the air flow using an adjustable nozzle unit; the results were processed depending on the relative power of the diesel fractional load modes. There have been illustrated the graphs of dependence of the blade rotation angle of the nozzle apparatus of a turbocharging unit, relative change of the gas temperature behind the cylinder, cycle average temperature of the working fluid, average heat flux, relative change in the heat stress criterion of the piston, heat stress criterion for the cylinder, change in the pressure cycle of the working fluid, degree of increase working fluid during combustion, maximum rate of pressure rise depending on the load of the diesel engine.

Key words: turbocharging unit, adjustable nozzle unit, nominal rating, working body parameters, thermal stress, air flow rate.

For citation: Konyukov V. L. Influence of excessive air coefficient during combustion on intensity of two-stroke diesel engine operation in wide range of modes. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;3:54-63. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-54-63.

REFERENCES

1. Koniukov V. L. Analiz ekspluatatsionnykh kharakteristik dizelia 7S50MC pri neposredstvennom upravlenii raskhodom vozdukh [Analysis of operational characteristics of 7S50MC diesel engine with direct control of air flow]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2020, no. 1, pp. 72-82. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-72-82.
2. *Turbocharger aftermarket Honeywell Garrett*. Garrett variable geometry turbochargers: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003. 32 p.
3. Varivoda O. A., Vasin O. E., Rezvin B. S. Ekonomicheskii effekt ot optimizatsii programmy regulirovaniia v privodnykh GTU [Economic effect of optimizing regulatory program in drive gas turbine power plants]. *Gazoturbinnye tekhnologii*, 2001, no. 4, pp. 32-33.
4. Orlin A. S. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia. Teoriia porshnevykh i kombinirovannykh dvigatelei* [Internal combustion engines. Theory of piston and combined engines]. Pod redaktsiei A. S. Orlina, M. G. Kruglova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 372 p.
5. Gavrilov V. S., Kamkin S. V., Shmelev V. P. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizel'nykh ustanovok* [Technical operation of marine diesel engines]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
6. Samsonov V. I., Khudov N. I. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia morskikh sudov* [Marine internal combustion engines]. Moscow, Transport Publ., 1990. 368 p.
7. Voznitskii I. V., Ivanov L. A. *Predotvrashchenie avarii sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia* [Accident prevention of marine internal combustion engines]. Moscow, Transport Publ., 1971. 191 p.
8. Oleinikov B. N. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya dizelei sudov flota rybnoi promyshlennosti* [Technical operation of diesel engines on fishing vessels]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 269 p.

The article submitted to the editors 29.06.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Konyukov Vyacheslav Leontievich – Russia, 298309, Kerch; Kerch State Maritime Technological University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Ship Power Plants; seykgmtu@gmail.com.

