

DOI 10.15589/jnn20150513
 УДК 621.577
 К64

**CHARGE AIR COOLING OF SHIP INTERNAL
 COMBUSTION ENGINE BY TERMOPRESSOR**
**ТЕРМОПРЕССОРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ
 НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА СУДОВОГО ДВС**

Dmytro V. Konovalov
 dmytro.konovalov@nuos.edu.ua
 ORCID: 0000-0001-7127-0487

Anna A. Dzhurinskaya
 annadgu2312@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-7015-8941

Д. В. Коновалов
 канд. техн. наук, доц.

А. А. Джури́нская
 асп.

Kherson Branch of National University of Shipbuilding, Kherson
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон

Abstract. The methodological approach of medium-speed engine charge air cooling by thermogasdynamic effect is considered. For the increasing the effect of air temperature reduction before the engine and compressor power rising, the pre-cooling before compressor is proposed. The moisture which is condensed in heat-exchanger is injected to the termopressor. Using termopressor pre-cooling system allows to increase air pressure with a simultaneous temperature reduction and increasing compressor power on 10...20% with engine power rising.

Key words: thermogasdynamic effect; termopressor; engine; utilization of warmth; scavenging air; turbo-charger; ecological moistening.

Аннотация. Рассмотрен методологический подход к охлаждению наддувочного воздуха в среднеоборотном двигателе с помощью применения термогазодинамического эффекта. Для повышения эффекта снижения температуры воздуха перед двигателем и увеличения мощности компрессора предложено осуществлять предварительное охлаждение перед компрессором, а влагу, которая конденсируется в теплообменнике впрыскивать в термопрессор. Применение термопрессорной системы с предварительным охлаждением позволяет увеличить давление воздуха с одновременным понижением температуры, что, в свою очередь, увеличивает мощность компрессора на 10...20% с соответствующим увеличением мощности двигателя.

Ключевые слова: термогазодинамический эффект; термопрессор; двигатель; утилизация теплоты; наддувочный воздух; турбокомпрессор; экологическое увлажнение.

Анотація. Розглянуто методологічний підхід до охолодження наддувочного повітря в середньооборотному двигуні із застосуванням термогазодинамічного ефекту. Для підвищення ефекту зниження температури повітря перед двигуном і збільшення потужності компресора запропоновано здійснювати попереднє охолодження повітря перед компресором, а вологу, що конденсується в теплообміннику впорскувати в термопресор. Застосування термопресорної системи з попереднім охолодженням дозволяє збільшити тиск повітря, з одночасним зниженням температури, що, у свою чергу, збільшує потужність компресора на 10...20% з відповідним збільшенням потужності двигуна.

Ключові слова: термогазодинамічний ефект; термопресор; двигун; утилізація теплоти; наддувне повітря; турбокомпресор; екологічне зволоження.

REFERENCES

- [1] Vulis L. A. *Termodinamika gazovykh potokov* [Gas flows thermodynamics]. M.– L., Gosenergoizdat Publ., 1950. 304 p.
- [2] Horbov V. M. *Entsyklopediia sudnovoї enerhetyky* [Encyclopedia of marine energetic]. Mykolaiv, NUOS Publ., 2010. 624 p.
- [3] Zhivitsa V. I. *Promezhutochnye okhladiteli s termopressorom dlya dvukhstupenchatykh ammiachnykh kholodilnykh ustanovok* [Pre-coolers with termopressor for the two-stage ammonia refrigerating plants]. *Kholodilnaya tekhnika — Refrigerating technology*, 2002, issue 5, pp. 18–20.

- [4] Zakharov Yu. V. *Sudovye ustanovki konditsionirovaniya vozdukhа i kholodilnye mashiny* [Marine air conditioning plants and refrigerating machines]. *Saint Petersburg, Sudostroenie Publ.*, 1994. 504 p.
- [5] Konovalov D. V. *Zastosuvannya termogazodynamichnoho efektu dlia promizhnoho okholodzhennia v systemakh nadduvnoho povitria DVZ* [Using the thermogasdynamic effect for medium cooling the ICE charge air systems]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohiia — Collection of scientific papers of HAI*, 2011, issue 8 (85), pp. 136–140.
- [6] Konovalov D. V. *Termopresorni systemy okholodzhennia sudnovykh DVZ* [Termopressor cooling systems of marine ICE]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohiia — Collection of scientific papers of HAI*, 2011, issue 10 (87), pp. 44–48.
- [7] Radchenko A. N., Radchenko R. N., Konovalov D. V. *Alternativnaya tekhnologiya polucheniya presnoy vody na sudakh teploispolzuyushchey kholodilnoy mashinoy* [Alternative technology of fresh water receiving on ships by the heat-using refrigerating machine]. *Tezy II mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi»* [Proc. of the 2nd International Scientific Conference «Innovations in ship-building and ocean technologies»]. *Mykolaiv, NUOS Publ.*, 2011, pp. 353–355.
- [8] Radchenko A. N., Buznik A. I. *Energoberegayushchii ekologicheski bezopasnyy sudovoy konditsioner na baze dizel-generatora* [Marine energy and ecology saving conditioner based on diesel driving alternator]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya — Aviation and space technics and technologies*. 2008, issue 10(57), pp. 118–122.
- [9] Radchenko M. I., Konovalov D. V., Vorobiov L. M. *Pidvyshchennia efektyvnosti hazovoho dyvhuna vnutrishnoho zghoriannia turbodetandernym okholodzhenniam hazopovitrianoi sumishi* [Gas ICE efficiency increasing by turboexpander cooling of gas-air mixture]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia — Aviation and space technics and technologies*. 2010, issue 10(57), pp. 62–65.
- [10] Radchenko M. I., Konovalov D. V., Vorobiov L. M. *Poperednie okholodzhennia hazopovitrianoi palyvnoi sumishi hazovykh dyvhuniv u detandernotermopresornykh kholodylnykh mashynakh* [Gas-air fuel pre-cooling of gas engines in expanding and termopressor refrigerating machines]. *Zbirnyk naukovykh prats DonNUET — Collection of scientific papers of DonNUET*. *DonNUET Publ.*, 2010, issue 24, pp. 234–240.
- [11] Radchenko R. N., Khlopenko N. Ya. *Ispolzovanie sbrosnogo tepla malooborotnykh dizeley dlya okhlazhdeniya vozdukhа na vkhode turbokompressorov* [Using the low-speed engines waste heat for air cooling into turbo-charger]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia — Aviation and space technics and technologies*. 2010, issue 8 (75), pp. 24–28.
- [12] Stepanov I. R., Chudinov V. I. *Nekotorye zadachi dvizheniya gaza i zhidkosti v kanalakh i truboprovodakh energoustanovok* [Some tasks of gas and liquid movement in power plants canals and pipelines]. *Leningrad, Nauka Publ.*, 1977. 200 p.
- [13] Wartsila 46 Technology review. *Wartsila Corporation*, 2008. 20 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сейчас в энергомашиностроении существует несколько методологических подходов к системам охлаждения наддувочного воздуха двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Первый подход заключается в применении поверхностных воздухоохладителей, в которых охлаждение воздуха осуществляется водой через ребристую стенку. Теплообменная поверхность представляет собой трубчато-пластинчатую или трубчато-ребристую конструкцию.

Второй подход заключается в применении многоступенчатых (двух- или трех-) когенеративных охладителей наддувочного воздуха (ОНВ). В таких ОНВ в первых ступенях теплота воздуха, имеющего высокую температуру после сжатия в турбокомпрессоре, применяется для подогрева теплоносителя систем отопления, горячего водоснабжения, подогрева танков топлива, масла и нефтепродуктов (на судах морского транспортного и танкерного флота) или

генератор теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ) систем комфортного и технологического кондиционирования воздуха. Окончательное охлаждение воздуха осуществляется водой в поверхностных ОНВ.

Третьим методологическим подходом является применение термopressорных систем охлаждения, где теплота наддувочного воздуха применяется для сжатия и охлаждения самого воздуха (термогазодинамический эффект). Этот эффект заключается в повышении давления в результате мгновенного испарения диспергированной жидкости, впрыскиваемой в ускоренный поток перегретого пара или газа (воздуха) [1].

В современной энергетике все более находят применение автономные когенеративные системы энергообеспечения. Основной задачей таких систем является обеспечение потребителей электрической и тепловой энергией. В составе главной энергетической установки, как правило, применяют дизель-генера-

торы на базе среднеоборотных первичных двигателей. Особенностью таких двигателей является достаточно высокий тепловой потенциал отходящих газов ($t_r = 350...400$ °С) и наддувочного воздуха ($t_{\text{нп}} = 180...230$ °С при $\pi_k = 3,0...4,5$) [2].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Совершенствование систем современных ДВС, предназначенных для обеспечения оптимальных начальных параметров рабочего цикла, и прежде всего системы турбонаддува является одним из резервов повышения энергетической эффективности ДВС. Уменьшение мощности привода турбокомпрессора наддувочного воздуха обеспечит образование резерва мощности утилизационной турбины, которую можно использовать для увеличения массового заряда воздуха (подача турбокомпрессора), идущего в цилиндры двигателя, а следовательно, и увеличения мощности двигателя или для привода электрогенератора [8, 9].

Одним из перспективных средств совершенствования системы турбонаддува является применение термопрессорных систем охлаждения. Основным элементом такой системы является термопрессорный аппарат, в котором осуществляется повышение давления воздуха в процессе мгновенного испарения воды, впрыскиваемой в воздушный поток, ускоренный до скорости, близкой к звуковой [2]. На испарение воды отводится теплота от наддувочного воздуха, как следствие, снижается температура. Термопрессор является достаточно компактным устройством, который по габаритам значительно выигрывает по сравнению с другими охладителями поверхностного или контактного типа, и главное, обеспечивает некоторое повышение давления, которое для воздушных систем может быть весьма значительным и составлять 20... 30% [8, 9]. Сочетание нескольких процессов в термопрессоре — контактного охлаждения наддувочного воздуха и повышения давления — позволяет обеспечить сокращение затрат мощности компрессора.

Другим средством сокращения расходов мощностей компрессора является охлаждение воздуха на всасывании в турбокомпрессор [10, 11]. Это позволяет не только уменьшить работу компрессора на сжатие, но и уменьшить температуру наддувочного воздуха на нагнетании, а значит, и уменьшить тепловые нагрузки на ОНВ.

В современных ДВС для снижения выбросов в атмосферу оксидов азота NO_x применяют специальные системы увлажнения наддувочного воздуха [2, 13]. Количество воды, которое подается в ДВС с наддувочным воздухом, должно быть в 3 раза больше количества сжигаемого топлива. Температура наддувочного воздуха на входе в цилиндры двига-

теля составляет 50...70 °С, а влагосодержание — до 80 г/кг [13]. Такие параметры воздуха позволяют снизить эмиссию оксидов азота на 70...80%. Эффект обусловлен тем, что водяной пар вследствие высокой теплоемкости отбирает на парообразование значительное количество теплоты, что приводит к снижению температуры в камере сгорания. Несмотря на то, что скорость образования NO_x напрямую зависит от температуры, чем больше водяного пара в смеси газов в цилиндре, тем ниже температура в зоне горения и меньше образуется оксидов азота.

В работе [5] приведено сочетание двух функций системы охлаждения наддувочного воздуха: контактное охлаждение наддувочного воздуха (до входа в компрессор и при сжатии в компрессоре), а также экологическое (с целью уменьшения эмиссии оксидов азота NO_x) увлажнение наддувочного воздуха на входе в цилиндры ДВС. Предложен способ тонкого распыления воды в наддувочном воздухе термопрессора, то есть непосредственно в теплообменнике-термопрессоре, благодаря турбулизации потока при высоких скоростях потока (число Маха $M = 0,80...0,95$) и уменьшение размеров капель в результате испарения.

Применение механических форсунок для организации распыления недостаточно эффективно, к тому же это приводит к дополнительным аэродинамическим сопротивлениям и, конечно, потерям давления, что уменьшает эффект от впрыскивания воды. С учетом этого термопрессорное охлаждение может позволить с одной стороны обеспечить интенсивное охлаждение воздуха, а с другой — обеспечить значительно более эффективное распыление воды в потоке газа с около звуковой скоростью.

Использование жидкости в термопрессоре в случаях его установки за турбокомпрессором позволит полностью или частично исключить применение конструктивно более сложных систем увлажнения наддувочного воздуха типа CASS («Wartsila», Финляндия).

В работах [5, 6] были рассмотрены термопрессорные системы для охлаждения наддувочного воздуха главного судового двигателя, но воду для впрыскивания в термопрессоре предложено брать из внешней системы пресной воды или применять конденсат из дополнительного ОНВ за термопрессором. Установка дополнительного ОНВ необходима, поскольку температура воздуха за термопрессором достаточно высока и составляет 70...80 °С. Все это усложняет систему охлаждения и, к тому же, значительная часть влаги конденсируется в ОНВ, что в свою очередь снижает эффект от экологического увлажнения.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ — оценка целесообразности применения термопрессорной системы для охлаждения наддувочного воздуха среднеоборотного двигателя.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На рис. 1 приведена система охлаждения и увлажнения наддувочного воздуха для стационарных модульных и судовых дизель-генераторов на базе среднеоборотных ДВС с применением термопрессора. Такая система включает в себя схему, где воздух перед всасыванием турбокомпрессором (ТК) охлаждается в воздухоохладителе (ПО) холодильной машины. В ТК воздух сжимается до давления меньше, чем давление на входе в цилиндры ДВС. Сжатие воздуха с высокой температурой поступает на испарительное охлаждение в термопрессор. Благодаря эффекту термогазодинамической компрессии температура воздуха значительно снижается, а давление повышается до величины, необходимой для подачи в цилиндры двигателя. В качестве внешней холодильной машины может быть применена, например, теплоиспользующая абсорбционная холодильная машина (АБХМ) [4]. Теплота в генераторе АБХМ подводится за счет теплоты отходящих газов ДВС.

Анализ работы термопрессорной системы приведен на примере системы охлаждения наддувочного воздуха дизель-генератора (ДГ) фирмы MAN B&W 5L21/31 мощностью $N_e = 1000$ кВт. Расчет процессов охлаждения и сжатия влажного воздуха сделан по классическим методикам [11], а расчет процессов в термопрессоре — по методикам [1, 3, 12].

Температура отходящих газов ТК для ДГ 5L21/31 составляет $t_r = 300...350$ °С [2]. В качестве АБХМ

предложено применить бромисто-литиевую АБХМ. Такая машина имеет ряд преимуществ перед другими теплоиспользующими машинами: компактность и достаточно большой, как для теплоиспользующих машин, тепловой коэффициент $\zeta = 0,8...1,0$. Температура теплоносителя на входе в генератор АБХМ должна составлять около 90 °С (рис. 1), а температура теплоносителя на выходе из испарителя АБХМ $t_0 = 7$ °С. Такая температура в ПО позволяет получить температуру охлажденного наддувочного воздуха $t_{нов} = 12$ °С. Конденсат при охлаждении в ПО предлагается использовать для впрыска в термопрессор. Расчет параметров работы термопрессорной системы выполнен для диапазона температур воздуха на входе $t_{ин} = 20...55$ °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 60\%$.

Из рис. 2, а видно, что коэффициент влаговыпадения при высоких температурах воздуха на входе ($t_{ин} = 45...55$ °С) достигает $\zeta = 3...4$. Уменьшение влагосодержания воздуха на входе составляет $\Delta d = 5...50$ г/кг (рис. 2, б). При этом общее выпадение влаги в ПО составит $\Delta W = 5...100 \cdot 10^{-3}$ кг/с. В случае термопрессорной схемы без ПО на входе в турбокомпрессор необходимое количество воды для впрыскивания в термопрессор при $\pi_k = 4,0$ составляет $W = 80...110 \cdot 10^{-3}$ кг/с, а при $\pi_k = 3,0$ — $W = 65...90 \cdot 10^{-3}$ кг/с. Охлаждение воздуха в ПО осуществляется до одинаковых параметров, отсюда приблизительно постоянный расход воды на впрыск в термопрессор: для $\pi_k = 3,0$ — $W = 57 \cdot 10^{-3}$ кг/с,

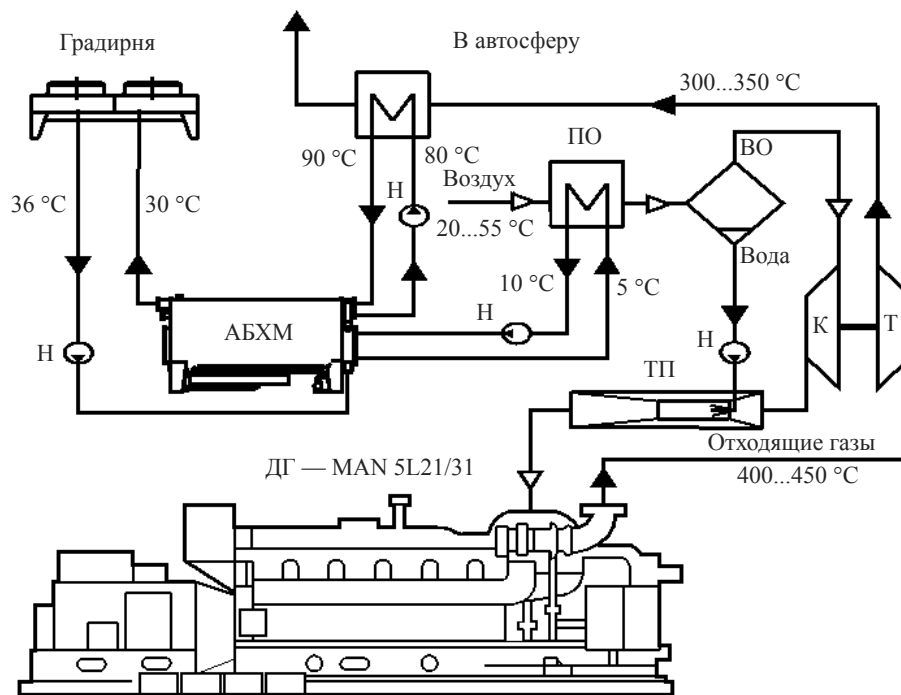


Рис. 1. Схема термопрессорной системы охлаждения наддувочного воздуха ДВС:

ПО — воздухоохладитель; ВО — влагоотделитель; К — компрессор; Т — турбина; Н — насос; ТП — термопрессор; ДГ — дизель-генератор

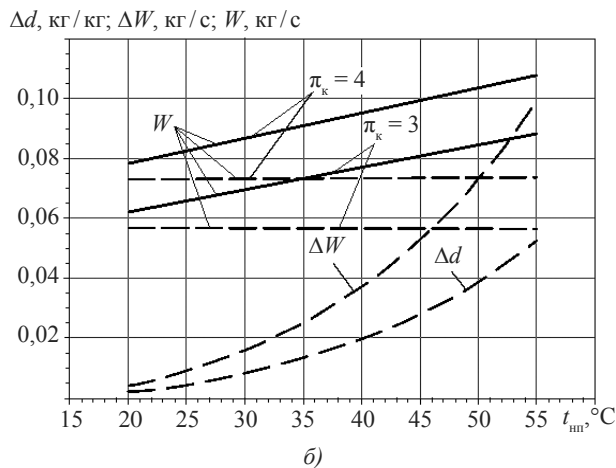
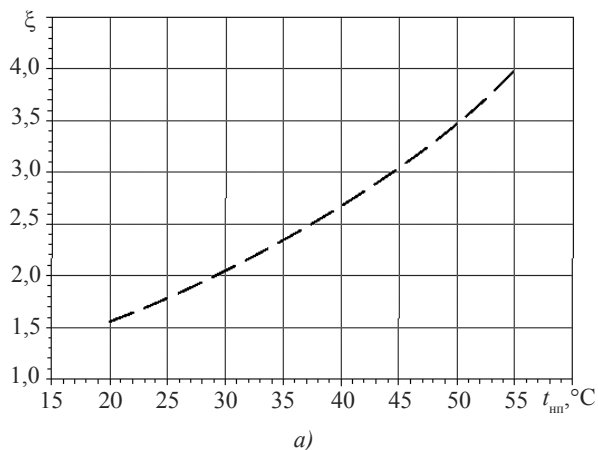


Рис. 2. Зависимости коэффициента влаговыпадения ξ (а), уменьшения влагосодержания Δd , количества сконденсированной в ПО влаги ΔW , расхода воды на впрыск в термопрессоре W (б) от температуры внешнего воздуха $t_{\text{вн}}$:
 ————— термопрессорная система без охлаждения воздуха на входе; - - - - - термопрессорная система с охлаждением воздуха на входе

для $\pi_k = 4,0$ — $W = 73 \cdot 10^{-3}$ кг/с. При температуре $t_{\text{вн}} = 45 \dots 50$ °C система может функционировать полностью автономно, т.е. количества воды, сконденсированной в ПО, достаточно для обеспечения работы термопрессора. Такой диапазон температур соответствует температурным режимам в машинном отделении. При меньших температурах (холодное время года) необходимо дополнительное количество воды (до $52 \cdot 10^{-3}$ кг/с при $t_{\text{вн}} = 20$ °C).

Применение предварительного охлаждения воздуха уменьшает температуру воздуха за компрессором, а соответственно — перед термопрессором. Отсюда меньшее повышение давления (рис. 3, а).

Для схемы термопрессорной системы без предварительного охлаждения: при $\pi_k = 3,0$ — $\Delta P = 5 \dots 7\%$, при $\pi_k = 4,0$ — $\Delta P = 8 \dots 10\%$, для схемы термопрессорной системы с предварительным охлаждением: при $\pi_k = 3,0$ — $\Delta P = 3,0 \dots 3,5\%$; при $\pi_k = 4,0$ — $\Delta P = 5,5 \dots 6,0\%$. Однако температура воздуха за термопрессором значительно ниже, чем для схемы без предварительного охлажде-

ния (рис. 3, б), и составляет $t_{\text{пов2}} = 56 \dots 58$ °C при $\pi_k = 3,0$ и $t_{\text{пов2}} = 66 \dots 67$ °C при $\pi_k = 4,0$.

Предварительное охлаждение воздуха на входе компрессора позволяет уменьшить работу на сжатие, а, следовательно, увеличить мощность компрессора $\Delta N_{\text{тк}}$ на $10 \dots 25$ кВт (5...12%) при $\pi_k = 3,0$ и $15 \dots 35$ кВт (10...18%) при $\pi_k = 4,0$. Увеличение мощности двигателя $\Delta N_{\text{д}}$ при этом составит 5...15%. Большие значения $\Delta N_{\text{тк}}$ по отношению к схеме без предварительного охлаждения обусловлены тем, что уменьшение мощности за счет охлаждения воздуха и конденсации влаги имеет определяющее влияние, чем повышение давления в термопрессоре.

Кроме сжатия и охлаждения воздуха к функции термопрессорной системы относится экологическое увлажнение. Так, влагосодержание воздуха d_2 на выходе из термопрессора составляет $45 \dots 50$ г/кг, при этом температура воздуха по сравнению с системами типа CASS меньше на $5 \dots 10$ °C, что способствует большей топливной экономичности двигателя.

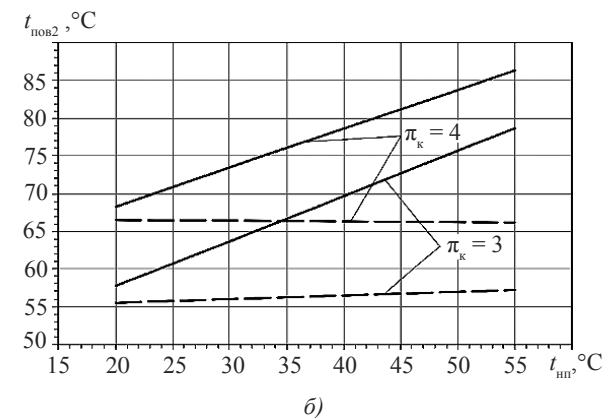
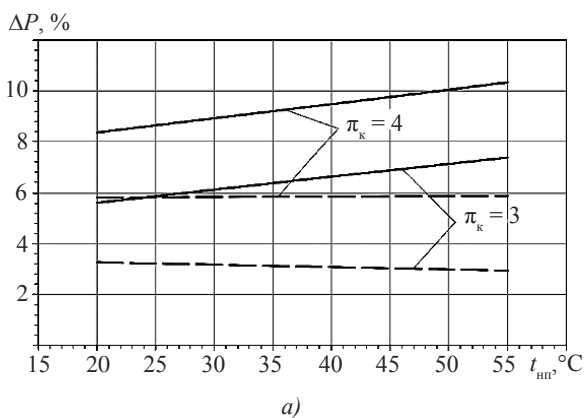


Рис. 3. Зависимости повышения давления в термопрессоре ΔP (а) и температуры воздуха на выходе из термопрессора $t_{\text{пов2}}$ (б) от температуры внешнего воздуха $t_{\text{вн}}$:

————— термопрессорная система без охлаждения воздуха на входе; - - - - - термопрессорная система с охлаждением воздуха на входе

ВЫВОДЫ. 1. Рассмотрена целесообразность применения термодинамической системы для охлаждения наддувочного воздуха судового среднеоборотного двигателя. Для повышения эффекта снижения температуры воздуха перед двигателем и увеличения мощности компрессора, а также для обеспечения автономности работы термодинамической системы предложено осуществлять предварительное охлаждение воздуха перед компрессором, а влагу, которая конденсируется в теплообменнике, впрыскивать в термодинамическую систему.

2. Применение термодинамической системы с предварительным охлаждением позволяет увеличить давление воздуха $\Delta P = 3,0...6,0\%$ с одновременным снижением температуры воздуха до $t_{\text{пов2}} = 55...70^\circ\text{C}$, что, в свою очередь, увеличивает мощность компрессора на $10...20\%$ с соответствующим увеличением мощности двигателя.

3. Термодинамическая система позволяет обеспечить экологическое увлажнение воздуха с конечным влагосодержанием $d_2 = 45...50$ г/кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вулис, Л. А. Термодинамика газовых потоков / Л. А. Вулис. — М.—Л. : Госэнергоиздат, 1950. — 304 с.
- [2] Горбов, В. М. Енциклопедія суднової енергетики / В. М. Горбов. — Миколаїв : НУК, 2010. — 624 с.
- [3] Живица, В. И. Промежуточные охладители с термодинамической системой для двухступенчатых аммиачных холодильных установок / В. И. Живица // Холодильная техника. — 2002. — № 5. — С. 18–20.
- [4] Захаров, Ю. В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины / Ю. В. Захаров. — СПб. : Судостроение, 1994. — 504 с.
- [5] Коновалов, Д. В. Застосування термогазодинамічного ефекту для проміжного охолодження в системах наддувочного повітря ДВЗ / Д. В. Коновалов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2011. — № 8 (85). — С. 136–140.
- [6] Коновалов, Д. В. Термодинамічні системи охолодження судових ДВЗ / Д. В. Коновалов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2011. — № 10 (87). — С. 44–48.
- [7] Радченко, А. Н. Альтернативная технология получения пресной воды на судах теплоиспользующей холодильной машиной / А. Н. Радченко, Р. Н. Радченко, Д. В. Коновалов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали II міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : НУК, 2011. — С. 353–355.
- [8] Радченко, А. Н. Энергосберегающий экологически безопасный судовый кондиционер на базе дизель-генератора / А. Н. Радченко, А. И. Бузник // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2008. — № 10 (57). — С. 118–122.
- [9] Радченко, М. І. Підвищення ефективності газового двигуна внутрішнього згорання турбодетандерним охолодженням газоповітряної суміші / М. І. Радченко, Д. В. Коновалов, Л. М. Воробйов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2010. — № 10 (77). — С. 62–65.
- [10] Радченко, М. І. Попереднє охолодження газоповітряної паливної суміші газових двигунів у детандернотермодинамічних холодильних машинах / М. І. Радченко, Д. В. Коновалов, Л. М. Воробйов // Обладнання та технології харчових виробництв : Зб. наук. праць ДонНУЕТ. — 2010. — Вип. 24. — С. 234–240.
- [11] Радченко, Р. Н. Использование сбросного тепла малооборотных дизелей для охлаждения воздуха на входе турбокомпрессоров / Р. Н. Радченко, Н. Я. Хлопенко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2010. — № 8 (75). — С. 24–28.
- [12] Степанов, И. Р. Некоторые задачи движения газа и жидкости в каналах и трубопроводах энергоустановок / И. Р. Степанов, В. И. Чудинов. — Л. : Наука, 1977. — 200 с.
- [13] Wartsila 46 Technology review. Wartsila Corporation, 2008. — 20 p.

© Д. В. Коновалов, А. О. Джуриńska

Надійшла до редколегії 22.09.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. М. Р. Кач