



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

ХІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

ЗМІСТ

	СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.	стр.
1.	УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ	10
2.	ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	14
3.	СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	17
4.	ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АЕРОТЕРМОПРЕСОРИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CFD МОДЕЛЮВАННЯ	20
5.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ АЭРОТЕРМОПРЕССОРНОГО АПАРАТА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТАКТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ	22
6.	МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	24
7.	ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ В КОНКРЕТНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ	28
8.	ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	32
9.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ	36
10.	АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ ГАЗОПОРШНЕВОЇ УСТАНОВКИ	41
11.	ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	46
12.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГТУ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	52
13.	ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ	54
14.	ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА НА ПАЛИВНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ	57
15.	UKRAINIAN ENERGY POLICY DEVELOPMENT. INTERNATIONAL EXPERIENCE	60
16.	THE CYCLE ENSURING UNINTERRUPTED OPERATION OF THE CONTACT HEAT EXCHANGER	62
17.	ОХОЛОДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	64
18.	АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ БЫТОВОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	67

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГТУ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Портной Б.С., аспирант, Национальный университет кораблестроения
им. адмирала Макарова, Николаев, Украина**

С повышением температуры воздуха $t_{\text{нв}}$ на входе эффективность газотурбинных установок (ГТУ) уменьшается: удельный расход топлива b_e растет, а эффективная мощность N_e уменьшается.

Повысить эффективность ГТУ и за счет этого сократить расход топлива при высоких температурах $t_{\text{нв}}$ воздуха на входе можно путем его предварительного охлаждения теплоиспользующими холодильными машинами (ТХМ), которые утилизируют теплоту отходящих газов ГТУ [1].

Глубина охлаждения воздуха на входе ГТУ теплоиспользующими холодильными машинами зависит от температуры полученного в них хладоносителя, подаваемого в воздухоохладители (ВО) на входе ГТУ. В наиболее распространенных одноступенчатых абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах воздух охлаждается до температуры $t_{\text{в2}} \approx 15^\circ\text{C}$ с высокой эффективностью трансформации сбросной теплоты в холод: их тепловой коэффициент $\zeta = 0,7 \dots 0,8$. Более глубокое охлаждение воздуха до температуры $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$ и ниже возможно в эжекторных холодильных машинах (ЭХМ), эффективность трансформации сбросной теплоты в холод которых значительно меньше: $\zeta = 0,2 \dots 0,3$. Целесообразно двухступенчатое охлаждение воздуха на входе ГТУ: до $t_{\text{в2}} = 15 \dots 20^\circ\text{C}$ в АБХМ, а до $t_{\text{в2}} = 7 \dots 10^\circ\text{C}$ в ЭХМ, то есть в ступенчатой абсорбционно-эжекторной холодильной машине [2, 3]. Особенностью эксплуатации систем охлаждения воздуха на входе ГТУ в условиях умеренного климата, характерного для Украины, является то, что глубокое охлаждение воздуха на входе ГТУ до температур $t_{\text{в2}} = 7 \dots 10^\circ\text{C}$ и ниже в хладоновых воздухоохладителях обеспечивало бы дополнительное существенное сокращение удельного расхода топлива даже при умеренных температурах наружного воздуха $t_{\text{нв}} = 15 \dots 20^\circ\text{C}$, которые наблюдаются в межсезонье и ночные-утренние часы летних месяцев.

Из-за сезонных и суточных колебаний температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}$ при эксплуатации ГТУ, крайне важен выбор рациональной тепловой нагрузки на воздухоохладители на входе ГТУ с учетом климатических условий. Согласно тепловой нагрузке на ВО выбирается нагрузка ТХМ.

При проектировании обычно выбирают наибольшую величину тепловой нагрузки. Однако, данный подход приводит к тому, что спроектированные теплообменные аппараты большую часть времени работают при пониженных тепловых нагрузках, что, в свою очередь, приводит к необоснованным затратам мощности, а затем и топлива, на преодоление их аэродинамического сопротивления, а также к росту капитальных затрат на теплообменное оборудование.

Цель исследования – разработать метод определения рациональных тепловых нагрузок комбинированной двухступенчатой теплоиспользующей абсорбционно-эжекторной холодильной машины с учётом отличий климата в разных регионах Украины.

Эффективность охлаждения воздуха на входе ГТУ удобно оценивать годовой удельной экономией топлива $b_e, ^\circ\text{кг/кВт}$, которая представляет собой отношение $b_e = B_e / N_e$ общего количества сэкономленного топлива $B_e, ^\circ\text{кг}$ к мощности ГТУ $N_e, ^\circ\text{кВт}$. Для определения установленной (проектной) удельной холодильной мощности (удельной холодопроизводительности) ступенчатой абсорбционно-эжекторной холодильной машины $q_0 = Q_0 / G_{\text{в}}$, приходящейся на единицу расхода воздуха $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$, необходимо проанализировать зависимость годовой удельной экономии топлива b_e от нее. Удельная холодильная мощность рассчитывается как $q_0 = \xi \cdot c_{\text{вл}} \cdot (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$, кВт/(кг/с), где ξ –

коэффициент влаговыпадения; $t_{\text{нв}}$ – температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{в2}}$ – температура воздуха на выходе из воздухоохладителя, °С; $c_{\text{вл}}$ – удельная теплоемкость влажного воздуха, кДж/(кг·К).

Учитывая зависимость удельной холодильной мощности q_0 от температуры $t_{\text{нв}}$ и относительной влажности $\phi_{\text{нв}}$ наружного воздуха, необходимо проанализировать суточные изменения параметров наружного воздуха. Для расчетов были выбраны климатические параметры наружного воздуха в различных регионах Украины: Николаевская обл., Волынская обл., Киевская обл., где расположены, соответственно, Южно-Бугская, Ковель и Ставищенская газоперекачивающие компрессорные станции (КС), для июля 2017 года.

Как показали результаты расчетов, значительные колебания температуры $t_{\text{нв}}$ и относительной влажности $\phi_{\text{нв}}$ наружного воздуха, соответственно, и тепловых нагрузок на системы охлаждения воздуха на входе ГТУ, затрудняют выбор значения проектной (установленной) тепловой нагрузки на ступени холодильной машины q_0 , которая обеспечивала бы получение максимального в течение года эффекта от охлаждения воздуха на входе ГТУ.

Установленная (проектная) удельная холодильная мощность (холодопроизводительность) q_0 , с одной стороны, должна покрывать расходы холода на охлаждение воздуха на входе ГТУ в течение как можно большего времени в течение года, что обеспечивало бы наибольший эффект в виде экономии топлива. С другой стороны, она не должна быть завышенной, чтобы большую часть года ступенчатая абсорбционно-эжекторная холодильная машина эксплуатировалась при тепловых нагрузках, близких к номинальным (проектным), иначе будет место невысокий коэффициент использования абсорбционно-эжекторной холодильной машины (эксплуатация на частичных нагрузках, далеких от проектных), а при заниженных q_0 , наоборот, – недоохлаждение воздуха на входе ГТУ при высоких температурах $t_{\text{нв}}$.

Для климатических условий эксплуатации ГТУ в различных регионах Украины, при охлаждении воздуха на входе до температуры $t_{\text{в2}} = 10$ °С, рациональной можно считать проектную удельную холодильную мощность ступенчатой абсорбционно-эжекторной холодильной машины (для $G_{\text{в}} = 1$ кг/с) $q_0 \approx 34$ кВт/(кг/с), при которой темп прироста годовой удельной экономии топлива b_e сохраняется достаточно высоким, а при охлаждении воздуха до $t_{\text{в2}} = 15$ °С в абсорбционно-бромистолитиевой холодильной машине – $q_0 \approx 24$ кВт/(кг/с). Исходя из рациональной удельной холодильной мощности выбирают полную установленную холодильную мощность абсорбционно-эжекторной холодильной машины в соответствии с расходом воздуха $G_{\text{в}}$ через ГТУ: $Q_0 = G_{\text{в}} \cdot q_0$, кВт.

Предложен метод определения рациональной тепловой нагрузки комбинированной двухступенчатой абсорбционно-эжекторной холодильной машины с учетом различия климатических условий разных регионов Украины (Николаевская обл., Волынская обл., Киевская обл.), где расположены газоперекачивающие компрессорные станции, которая обеспечивает наибольшую годовую удельную экономию топлива, при высоких темпах ее прироста.

Список литературы

1. Ortiga, J. Operational optimisation of a complex trigeneration system connected to a district heating and cooling network [Text] / J. Ortiga, J. C. Bruno, A. Coronas // *Applied Thermal Engineering*. – 2013. – Vol. 50. – P. 1536–1542.
2. Радченко, А. Н. Методологический подход к рациональному проектированию комбинированной теплоиспользующей системы охлаждения воздуха на входе газотурбинной установки [Текст] / А. Н. Радченко, С. А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 4(121). – С. 76 – 79.
3. Радченко, А. Н. Метод выбора рациональной тепловой нагрузки абсорбционно-эжекторного термотрансформатора охлаждения воздуха на входе регенеративных ГТУ компрессорных станций [Текст] / А. Н. Радченко, С. А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 5(122). – С. 61–64.