ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION

VI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ «ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2016»
VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2016»
VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE «KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2016»

Конференция баяндамаларының жинағы

1-2 наурыз, 2016 ж.

Сборник докладов конференции

1-2 марта 2016 г.

Proceedings of the Conference

March 1-2, 2016

Алматы, 2016

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:
Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2016: Сбор. докл. межд. науч.-техн. конф. (1-2 марта 2016 г.) – Алматы: АТУ, 2016. – 163 с.

ISBN 978-601-263-344-3

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Израиля, Голландии, Японии и Украины по направлениям: теплохладоснабжение, пищевая технология, кондиционирование и экология.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях индустрии холода, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленностей, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-344-3

© АТУ, 2016

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КАЗАХСТАН – ХОЛОД 2016»

1-2 марта 2016 года состоялась VI Международная научно-техническая конференция «Казахстан – Холод 2016». Конференция проводилась **Представительством Международной Академии Холода в Республике Казахстан.**

Место проведения конференции: Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 128/8, ГККП «Международный комплекс лыжных трамплинов “Сункар”».

Члены организационного комитета конференции: Алматинский Технологический Университет, ТОО «Тениз» – Школа Холода Автоматики и Электроники, Казахстанская ассоциация «Индустрия холода», ГККП «Международный комплекс лыжных трамплинов “Сункар”», Научно-техническое общество «КАХАК».

Программный комитет

1. **Цой А.П.,** председатель представительства МАХ в РК, академик, к.т.н., профессор, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.
2. **Бараненко А.В.**, президент МАХ, академик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Институт холода и биотехнологий, Россия.
3. **Кантарбаев Р.А.,** директор Международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар», Казахстан.
4. **Андреева В.И.**, ведущий специалист ООНР, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.
5. **Шлейкин А.Г.,** академик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский университет ИТМО. Институт холода и биотехнологий, Россия.

Официальные спонсоры

Plattenhardt + Wirth GmbH
Kühlraumbau/Industriebau

КАЗПРОМХОЛОД

ФИТОМАГ

MAYEKAШA MYCOM

Участники конференции

В конференции приняло участие более 100 представителей Казахстана, России, Украины, Узбекистана, Германии, Голландии, Франции.

1) Научно-педагогические работники:

- Алматинский Технологический Университет, г. Алматы, Казахстан;
- Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан;
- Алматы Менеджмент Университет, г. Алматы, Казахстан;
- АО «Жасыл Даму» – Министерство окружающей среды и водных ресурсов Республики Казахстан;
- Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан;
- Казахстанская ассоциация «Индустрия Холода», Казахстан;
- Краснодарский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Краснодар, Россия;
- Международный институт холода, г. Париж, Франция;
- НТО «Кахак», г. Алматы, Казахстан;
- Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина;
- Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет ИТМО (Институт Холода и Биотехнологий), г. Санкт-Петербург, Россия;

- ТОО «Тениз», г. Алматы, Казахстан;
- ФГБОУВПО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, Россия;
- Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков, Украина;
- и др.

2) Специалисты проектно-монтажных организаций холодильной промышленности Республики Казахстан и России:

- «HEVECO Engineering», ТОО;
- «Бюро Техники», ООО;
- «Казпромхолод», ТОО;
- «Производственная фирма “Взлёт Казахстан”», ТОО;
- «Технологии низких температур», ООО и др.

3) Международных компании и их официальные представители в России и Казахстане:

- «Celtic cooling», ТОО (Казахстан – Голландия);
- «Gold Dried Fruits», ООО (Узбекистан);
- «KazInterCool», ТОО (Казахстан – Япония);
- «MAYEKAWA MYCOM CO., LTD» (Япония – Россия);
- «Plattenhardt + Wirth», GmbH (Германия);
- «TRAMAX Ltd.», ТОО (Казахстан – США);
- «ФитомагИнтер», ООО (Россия) и др.

4) Инжиниринговые и проектные компании Республики Казахстан:

- «SAKADA Engineering», ТОО;
- «Казсантехпроект», АО;
- Компания «Био-Айс Техник» и др.

5) Предприятия Казахстана, потребляющие холод:

- «Alar-Trade Agro», ТОО;
- «EFES Kazakhstan», ТОО;
- «Eurasian Foods Corparation», АО;
- «JTI Kazakhstan»;
- «SHIN-LINE», ТОО;
- «АгроПромЭнерго-К», ТОО;
- «Бахус», АО;
- «Компания ФудМастер»;
- «Рахат», АО;
- К/х «Заозерный», ТОО;
- Торговый комплекс «ARMADA»;
- ТРЦ «MEGA»;
- Филиал «Комета» РГП «Резерв» и др.

Концепция Конференции
«ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО»

Международная конференция «Казахстан – Холод 2016» является ежегодным казахстанским форумом специалистов в области индустрии холода и холодильной технологии. Проведение конференции создаёт надёжную основу для эффективного взаимодействия образования, науки, бизнеса, государственных органов и международных организаций.

Приоритетными вопросами развития «зеленой» технологии в рамках промышленного холода в Казахстане являются: обучение кадров, внедрение инновационных технологий, а также регулирование правовых вопросов связанных с предстоящей заменой холодильных

агентов с высоким потенциалом глобального потепления (GWP) на экологически безопасные хладагенты (аммиак, диоксид углерода и др.).

Одной из основных целей конференции в 2016 году – объединение научных, инженерных и производственных кадров индустрии холода и специалистов агропромышленного сектора.

Специфика Казахстанской экономики – высокий потенциал агропромышленного рынка. Однако, в настоящее время основные производители овощей и фруктов практически не используют современное холодильное оборудование, поэтому находятся в зависимости от сезонности и реализуют продукцию в основном осенью по низким ценам.

Это связано, в первую очередь, с недостаточной осведомленностью местных крестьянских хозяйств в области современных технологий и способов хранения.

VI Конференция предназначена стать «мостом» для установления связей агропромышленного комплекса с индустрией холода, что будет способствовать внедрению современной холодильной технологии на рынке Казахстана и развитию сельского хозяйства в стране.

На Конференции специалисты индустрии холода познакомили потенциальных заказчиков с современными способами и технологиями длительного хранения овощей и фруктов.

Перед индустрией холода и агропромышленным комплексом стоит единая задача – увеличение конкурентоспособности, улучшение качества произведенных товаров и услуг. Сегодня решать эту задачу необходимо с внедрением «зеленых» и энергоэффективных технологий в соответствии с направлением развития Казахстана.

В целом перед компаниями индустрии холода стоит задача предоставить своим потребителям энергоэффектиные, экологичные технологии и современную технику для удовлетворения потребностей в различных сферах экономики.

На Конференцию были представлены 36 докладов, которые публикуются ниже.

Председатель представительства
Международной академии холода в Казахстане,
канд. тех. наук, академик МАХ
ЦОЙ А.П.

VI International Scientific and Technical Conference
“Kazakhstan-Refrigeration 2016”

VI International Scientific and Technical Conference “Kazakhstan-Refrigeration 2016” took place on 1-2 of March, 2016. The Conference was organized by the Representative Office of the International Academy of Refrigeration in Kazakhstan

Conference Venue:

Al-Farabi Ave., 128/8, SME International Ski Jump Complex "Sunkar", 050040, Almaty, The Republic of Kazakhstan

Organizing Committee: Almaty Technological University, “Teniz” – School of Refrigeration, Automation and Electronics, Kazakhstan Association “Refrigeration Industry”, SME International Ski Jump Complex "Sunkar", Scientific and Technical Society “Kakhak”.

Program Committee:

1. Tsoy A.P., Chairman of the Representative Office of the IAR in Kazakhstan, Academician, Candidate of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Kazakhstan

2. Baranenko A.V., President of IAR, Academician, PhD, Professor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Institute of Refrigeration and Biotechnology, Russia

3. Kantarbayev R.A., Director of the International Ski Jump Complex “Sunkar”, Kazakhstan

4. Andreyeva V.I. Key Specialist of Science Department, Almaty Technological University, Kazakhstan.

5. Shleikin A.G., Academician, PhD, Professor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Institute of Refrigeration and Biotechnology, Russia

Official Sponsors:

Plattenhardt +Wirth GmbH
Kühlraumbau/Industriebau

КАЗПРОМХОЛОД

ФИТОМАГ

МАУЕКАША
MYCOM

Conference participants

The participants of the Conference included more that 100 representatives from Kazakhstan, Russia, Ukraine, Uzbekistan, Germany, Holland and France.

1) Researchers and Pedagogical Staff:

• Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;
• Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan;
• Management University of Almaty, Almaty, Kazakhstan;
• JSC "Zhasyl Damu" - The Ministry of Environment and Water Resources of the Republic of Kazakhstan;
• Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan;
• Kazakhstan Association "Refrigeration Industry", Kazakhstan;
• Krasnodar branch REU named after G.V. Plekhanov, Krasnodar, Russia;
• International Institute of Refrigeration, Paris, France;
• Scientific society "Kakhak", Almaty, Kazakhstan;
• Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine;

• St. Petersburg National Research University ITMO (Institute of Refrigeration and Biotechnology), St. Petersburg, Russia;
• LLP "Teniz", Almaty, Kazakhstan;
• FSFEI HVE "Transbaikal State University", Chita, Russia;
• Kharkov State University of Food Technology and Trade, Kharkov, Ukraine;
and others

2) Specialists of Design and Installation Companies of the Refrigeration Industry of the Republic of Kazakhstan and Russia:
• «HEVECO Engineering», LLP;
• «Byuro Tekhniki", Ltd;
• «Kazpromkholod" LLP;
• “Production Company" Vzlyot Kazakhstan", LLP;
• “Tekhnologii nizkikh temperatur”" Ltd and etc.

3) International Companies and their Official Representatives in Russia and Kazakhstan:
• «Celtic cooling», LLP (Kazakhstan - Netherlands);
• «Gold Dried Fruits», OOO (Uzbekistan);
• «KazInterCool», LLP (Kazakhstan - Japan);
• «MAYEKAWA MYCOM CO, LTD» (Japan - Russia);
• «Plattenhardt + Wirth», GmbH (Germany);
• «TRAMAX Ltd.», LLP (Kazakhstan - USA);
• «FitomagInter" OOO (Russia) and etc.

4) Engineering and Design Companies of the Republic of Kazakhstan:
• «SAKADA Engineering», LLP;
• «Kazsantehproekt", JSC;
• Company "Bio-Ice Technician" and etc.

5) Kazakhstan enterprises consuming refrigeration:
• «Alar-Trade Agro», LLP;
• «EFES Kazakhstan», LLP;
• «Eurasian Foods Corparation», JSC;
• «JTI Kazakhstan»;
• «SHIN-LINE», LLP;
• «AgroPromEnergo-K" LLP;
• «Bacchus", JSC;
• «Company FoodMaster";
• «Rakhat", JSC;
• "Zaozerny" LLP;
• Shopping center «ARMADA»;
• Shopping mall «MEGA»;
• Branch "Kometa", RSE "Reserve" and etc.

The Concept of the Conference «EDUCATION-SCIENCE-PRODUCTION»

International Conference "Kazakhstan-Refrigeration 2016" is an annual forum of Kazakhstani specialists in the industry of refrigeration and refrigeration technology. The Conference creates a solid foundation for effective interaction between Education, Science, Business, Government and International Organizations.

The priority issues of development areas of “Green” technology in Refrigeration Industry in Kazakhstan are: personnel training, introduction of innovative technologies, as well as the regulation of the legal issues related to the upcoming replacement of refrigerants with a high global warming potential (GWP) for environmentally friendly refrigerants (ammonia, carbon dioxide and etc.).

One of the main objectives of the Conference in 2016 - the union of scientific, engineering and production personnel in the Industry of Refrigeration with agricultural business professionals.

The specifics of the Kazakhstan economy - the high potential of Agricultural market. However, currently the main producers of vegetables and fruits practically do not use modern refrigeration technologies, so they are dependent on the season and sell their products mainly in the autumn at low prices.

This is primarily due to the lack of awareness of local farmers in the area of modern technologies and storage methods.

VI Conference is intended to become a "bridge" to link the Agro-industrial complex with Refrigeration Industry that will facilitate the introduction of modern refrigeration technology to the market of Kazakhstan and the development of agriculture in the country.

At the Conference, the Refrigeration Industry experts introduced potential customers with modern methods and the technology of long-term storage of fruits and vegetables.

The Refrigeration Industry and Agro-industrial Complex have one common goal – to increase competitiveness, improve the quality of goods and services produced. Today it is necessary to solve this problem with the introduction of "green" and energy-efficient technologies in accordance with the direction of development of Kazakhstan.

In general, the companies of the Refrigeration industry are faced a task to provide its consumers energy efficient, eco-friendly technology and modern equipment to meet the needs in different sectors of the economy.

36 articles were presented at the Conference, which are published below.

Chairman of the Representative Office of the
International Academy of Refrigeration in Kazakhstan,
Candidate of Technical Sciences, Academician of IAR,
Alexander Tsoy

УДК 643.336547.128

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Белецкий Э.В., д.т.н., проф., Петренко Е.В., к.т.н., доцент, г. Харьков, Украина,
E-mail: bileckyj@meta.ua, elena_lion_71@mail.ru

Сегодня описание переходного режима течения является актуальной проблемой и имеет научно-прикладное значение. В холодильной и климатической индустриях существует достаточно большое количество маловязких жидкостей, течение которых осуществляется в ламинарном и переходном режимах. Из технической литературы известны различные инженерные методики, позволяющие определить расход жидкости, установить значение местных сопротивлений и трения, как правило, для ламинарного режима течения ньютоновских жидкостей [1; 2]. Для детального изучения гидравлики и теплообмена таких жидкостей необходимо также исследовать течение в переходном режиме и на основе полученных данных разработать модели пристенных течений и алгоритмы вычисления коэффициентов местных сопротивлений и трения. Умение правильно определять гидродинамические характеристики течения в переходном режиме может существенно повлиять на интенсивность теплообмена и его эффективность.

На современном этапе для изучения переходного режима течения предлагаются два способа. Первый способ связан с исследованием гидродинамической нестойкости, а второй – с моделированием участка перехода со сложным периодичным или хаотичным движением [3]. Первый способ направлен на установление условий зарождения переходного режима, изучающий условия течений ламинарного характера, в которых возникают, возмущение течения во времени и пространстве. В основе изучения лежит уравнение Орра-Зоммерфельда [4]. В результате решения этого уравнения устанавливается связь между структурой профиля скорости ламинарного течения и условиями увеличения амплитуды возмущенного течения. В качестве возмущения используются гармоничные одиночные волны или в пакете. Анализ стойкости проводится в приближении малости возмущений, при этом учитывается величина увеличения и взаимодействие различных возмущений. Результаты исследований нестойкости ламинарного течения сопоставляются с экспериментами для проверки связи структуры потока с местами зарождения турбулентности [3]. Второй способ достаточно новый, основанный на свойствах реодинамической системы гидродинамического типа при изменении параметра движения (числа Рейнольдса) разрушать свое периодическое движение и превращать его в многопереодическое или апериодическое [5]. И первый и второй способы имеют сугубо теоретический смысл и далеки от запросов инженеров-практиков.

Авторами в данной работе построена модель течения ньютоновских жидкостей в трубе при переходном гидродинамическом режиме на основании использования феноменологического подхода.

Данный подход основывается, во-первых, на экспериментально наблюдаемой картине перехода между режимами, во-вторых, на хорошо известных свойствах течения на концах участка перехода из ламинарного в турбулентный режимы. На концах участка перехода известны стабилизированные профили скорости - пуазейлевский и логарифмический (квазилогарифмический), а также известны длины стабилизации - ламинарная и турбулентная [6]. Визуализация участка перехода потока демонстрирует наличие подучастка с ламинарным и турбулентным поведением, т.е. разбиение участка перехода на подучастки. Если число Рейнольдса становится равным его значению на нижней (ламинарной) границе промежутка перехода, турбулентные подучастки исчезают. С увеличением числа Рейнольдса объем и количество турбулентных подучастков увеличиваются так, что когда число Рейнольдса становится равным его значению на верхней (турбулентной) границе промежутка перехода, ламинарные подучастки исчезают.

Следующее предположение заключается в том, что внутри каждого подучастка течение считается таким, как на границах промежутка перехода. И наконец, в ходе рассмотрения перехода между режимами в трубах предполагается, что подучастки с ламинарным и турбулентным поведением чередуются вдоль трубы. Схематично такое течение изображено на рисунке.

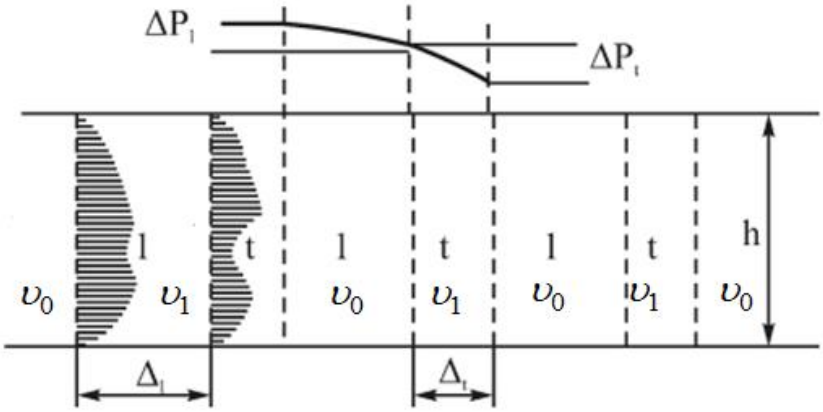


Рисунок – Переходное движение в трубе: l – ламинарные участки; t – турбулентные участки; Δ_l – длина ламинарного участка; Δ_t – длина турбулентного участка

Стабилизированное постоянное течение имеет профиль скорости, который не зависит от продольной координаты вдоль оси трубы. Это справедливо как для ламинарного, так и для турбулентного режимов течения. В переходном режиме профиль скорости является периодической функцией продольной координаты и изменяется от ламинарного стабилизированного к турбулентному стабилизированному и наоборот.

Для каждого ламинарного участка турбулентный стабилизированный профиль на его начале превращается на ламинарный стабилизированный профиль в конце. Для каждого турбулентного участка ламинарный стабилизированный профиль на его начале превращается на турбулентный стабилизированный профиль в конце.

Указанные преобразования можно записать с помощью экспонентных множителей, показатели, степени которых определяются отношением длины ламинарного и турбулентного участков течения и длины стабилизации соответствующего режима движения [7]. Если на границах ламинарного подучастка течения профиль скорости обозначить как υ_0 и υ_1 согласно рис., то эти профили связаны между собой преобразованиями такого вида:

$$\upsilon_0 \to \upsilon_1 = \upsilon_0 e^{-\Delta_l/L_l} + \upsilon_l^{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\Delta_l/L_l}\right),$$

$$\upsilon_1 \to \upsilon_0 = \upsilon_1 e^{-\Delta_t/L_t} + \upsilon_t^{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\Delta_t/L_t}\right). \qquad (1)$$

где: υ_0 и υ_1 – профили скорости течения на границах ламинарного подучастка, м; Δ_l – длина ламинарного участка, м; Δ_t – длина турбулентного участка, м.

Длины стабилизации являются известными функциями числа Рейнольдса переходного режима течения, т.е. из (1) вытекает, что величины υ_0, υ_1 равны комбинациям экспонент:

$$\upsilon_0 = \frac{\upsilon_l^{\infty} e^{-\Delta_t/L_t} \cdot \left(1 - e^{-\Delta_l/L_l}\right) + \upsilon_t^{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\Delta_t/L_t}\right)}{1 - e^{\left(\frac{-\Delta_t}{L_t} - \frac{\Delta_l}{L_l}\right)}},$$

$$\upsilon_1 = \upsilon_0 e^{-\Delta_l/L_l} + \upsilon_l^{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\Delta_l/L_l}\right). \qquad (2)$$

Выбор экспонентных преобразовательных множителей в (1) базируется на таких соображениях: начальные профили течения в трубах под действием уравнения Навье-Стокса изменяются так, что каждый компонент разложения начального профиля в ряд Фурье по поперечной координате приобретает экспонентный множитель, который зависит от числа Рейнольдса, номера компонента разложения и продольной координаты. Вклады всех компонентов, кроме первого, быстро угасают, так что эволюция начального профиля имеет экспонентный характер. Это свойство и использовано в уравнении (1).

Для того, чтобы вычислить длину становления профилей скоростей, которые чередуются, необходимо знать количество пар турбулентных и ламинарных участков. Для этого нужно задать произвольный начальный профиль скорости $\upsilon_н$ на входе в трубу. Результат $\upsilon_н$ также будет зависеть от парности или непарности числа участков течения и от того, из какого участка, ламинарного или турбулентного, начинается течение. Для сокращения записи удобно ламинарный экспонентный множитель обозначить как e_l, а турбулентный – как e_t. Тогда ряд соотношений, которые связывают последовательные профили скорости, приобретает такой вид:

$$\upsilon_i e_l + \upsilon_l^{\infty} \cdot (1 - e_t) = \upsilon_{i+1}, \quad i = 0, 1 \ldots N,$$

$$\upsilon_{i+1} e_t + \upsilon_t^{\infty} \cdot (1 - e_l) = \upsilon_{i+2} \ldots \tag{3}$$

Рассматривая отдельно случаи $N = 2k$ и $N = 2k + 1$ ламинарного и турбулентного начал на входе в трубу и решая систему уравнений (3) относительно величин υ_l, можно прийти к таким выводам:

Начало турбулентное:

$N = 2k$:

$$\upsilon_н = \upsilon_H e_l^k e_t^k + \left[\upsilon_l^{\infty} \cdot (1 - e_l)\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t} + \left[\upsilon_t^{\infty} \cdot (1 - e_t) e_l\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t},$$

$N = 2k + 1$:

$$\upsilon_{í} = \upsilon_{í}\, e_l^k e_t^{k+1} + \left[\upsilon_l^{\infty} \cdot (1 - e_l) e_t\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t} + \left[\upsilon_t^{\infty} \cdot (1 - e_t)\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t}. \tag{4}$$

Начало ламинарное:

$N = 2k$:

$$\upsilon_н = \upsilon_н e_l^k e_t^k + \left[\upsilon_l^{\infty} \cdot \left(1 - e_l^k\right) e_t^k\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t} + \left[\upsilon_t^{\infty} \cdot \left(1 - e_t^k\right)\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t},$$

$N = 2k + 1$:

$$\upsilon_{í} = \upsilon_{í}\, e_l^{k+1} e_t^k + \left[\upsilon_l^{\infty} \cdot (1 - e_l)\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t} + \left[\upsilon_t^{\infty} \cdot (1 - e_t) e_l\right] \cdot \frac{1 - e_l^k e_t^k}{1 - e_l e_t}. \tag{5}$$

В выражениях (4, 5) каждый из них представляет собой сумму двух слагаемых, одно из которых не зависит от k, а другое – зависит. Легко увидеть, что зависимые от k слагаемые с его увеличением стремятся к нулю. В общем виде выражения (4, 5) можно записать так:

$$\upsilon_н = \upsilon^{\infty} + e_l^k e_t^k \cdot f_1\left(\upsilon_н, \upsilon_L^{\infty}, \upsilon_t^{\infty}, e_l^k, e_t^k\right). \tag{6}$$

Величина k определяется из условия такого вида:

$$\left\| \upsilon^{\infty} - \upsilon_н \right\| \le \varepsilon(k); \; \varepsilon \ge e_l^k e_t^k \cdot \left\| f_1\left(\upsilon_н, \upsilon_l^{\infty}, \upsilon_t^{\infty}, e_l, e_t\right) \right\|, \tag{7}$$

где обозначение $\|...\|$ означает норму величины φ, которую в данном случае можно считать квадратичной, т.е. такой, что имеет следующий вид:

$$\| f_1 \| = \frac{1}{h} \left\{ \int_c^h f_1^2\left(\upsilon_н, \upsilon_l^{\infty}, \upsilon_t^{\infty}, e_l, e_t\right) dy \right\}^{1/2}. \tag{8}$$

Обозначив длину стабилизации переходного режима в трубе как L_{lt}, получаем такое выражение:

$$L_{lt} = k \cdot (\Delta_l + \Delta_t); \; k = \left| \frac{\ln \varepsilon - \ln \| f_1 \|}{\ln e_l e_t} \right|. \tag{9}$$

Ламинарным и турбулентным участкам отвечают перепады давлений: ΔP_l – для ламинарного и ΔP_t – для турбулентного участков. Начальные и конечные давления $P_н$ и $P_к$ на концах трубы связанны с перепадами давлений ΔP_l и ΔP_t такими соотношениями:

$$P_н + \frac{N}{2}\Delta P_l + \frac{N}{2}\Delta P_t = P_к \text{ , } N \text{ – парное;}$$

$$\left.\begin{aligned} P_н + \frac{N-1}{2}\Delta P_l + \left(\frac{N-1}{2}+1\right)\Delta P_t = P_к \\ P_н + \left(\frac{N-1}{2}+1\right)\Delta P_l + \frac{N-1}{2}\Delta P_t = P_к \end{aligned}\right\} N \text{ – непарное.} \qquad (10)$$

Между величинами ΔP_l и ΔP_t существует связь, возникающая из условия равенства расхода течения на ламинарных и турбулентных участках. Если в роли стабилизированных профилей в плоской трубе использовать пуазейлевский и логарифмический профили скорости, то соотношение между ΔP_l и ΔP_t приобретает такой вид:

$$\dot{V}_l = \frac{h^3}{12\mu}\frac{\Delta P_l}{\Delta l}; \quad \dot{V}_t = \left(\frac{h^3 \Delta P_t}{2\cdot 0,4^2 \rho \Delta_t}\right)^{1/2} \cdot \ln\left[\frac{h}{(\mu/\rho)}\left(\frac{h\,\Delta P_t}{2\rho\Delta_t}\right)^{1/2}\right],$$

$$\dot{V}_l = \dot{V}_t \text{ ,} \qquad \nu = \mu/\rho. \qquad (11)$$

где $\dot{V}_l$ и $\dot{V}_t$ – величины расхода течения на ламинарных и турбулентных участках, м^3/с.

Из выражений (10) и (11) при условии, что N – большое число, получается уравнение для вычисления ΔP_l и ΔP_t:

$$\frac{2}{N}\left(P_к - P_н\right) = \Delta P_t + \frac{12\mu}{h^3}\Delta_l \cdot \left(\frac{h^3 \Delta P_t}{2\kappa^2 \rho \Delta_t}\right)^{1/2} \cdot \ln\left[\frac{h}{(\mu/\rho)}\left(\frac{h\,\Delta P_t}{2\rho\Delta_t}\right)^{1/2}\right],$$

$$\Delta P_l = \frac{12\mu}{h^3}\Delta_t \cdot \left(\frac{h^3 \Delta P_t}{2k_{\mathrm{Pr}}{}^2 \rho \Delta_t}\right)^{1/2} \cdot \ln\left[\frac{h}{(\mu/\rho)}\left(\frac{h\,\Delta P_t}{2\rho\Delta_t}\right)^{1/2}\right]. \qquad (12)$$

где k_{Pr} – постоянная Прандтля пристенной турбулентности, k_{Pr} = 0...4 [1]

Уравнение для ΔP_t нелинейное, его решение зависит от величин h и μ. В общем виде его решение можно записать так:

$$\Delta P_t = \left\{\frac{6\mu}{h^3}\cdot\left(\frac{h^3}{2\cdot 0,4^2 \rho \Delta_t}\right)\Delta_l \cdot \ln\left[\frac{h}{(\mu/\rho)}\left(\frac{h\Delta P_t}{2\rho\Delta_t}\right)^{1/2}\right] + \right.$$

$$\left. + \sqrt{\frac{36\mu^2}{h^3}\cdot\left(\frac{h^3}{2\cdot 0,4^2 \rho \Delta_t}\right)^2 \Delta_{ll}^2 \cdot \ln^2\left[\frac{h}{(\mu/\rho)}\left(\frac{h\Delta P_t}{2\rho\Delta_t}\right)^{1/2} + \frac{2}{N}\left(P_{\hat{e}} - P_{\acute{i}}\right)\right]}\right\}. \qquad (13)$$

Данное решение можно приблизительно вычислить, если задаться значением $\Delta P_t^{1/2}$ в правой части.

Для определения коэффициента сопротивления трения переходного режима необходимо выразить его через коэффициенты сопротивления трения ламинарного и турбулентного участков, которые определены. Выражая потери давления на преодоление трения через потери в каждом участке, можно получить такие соотношения:

$$\Delta P_l = \lambda_l^* \frac{\Delta_l}{h}\rho\frac{\langle \upsilon_l \rangle^2}{2}; \qquad \Delta P_t = \lambda_t^{**} \frac{\Delta_t}{h}\rho\frac{\langle \upsilon_t \rangle^2}{2},$$

$$\left(\Delta P_l + \Delta P_t\right)\frac{N}{2} = P_к - P_н\,,\;\; \lambda_{lt}\cdot\frac{\left(\Delta_l + \Delta_t\right)N/2}{h}\rho\frac{\langle\langle v\rangle\rangle^2}{2} = P_к - P_н\,,$$

$$\lambda_l^* = \lambda(\mathrm{Re}^*),\;\; \lambda_l^{**} = \lambda(\mathrm{Re}^{**})\,;\quad \mathrm{Re}^* \le \mathrm{Re} \le \mathrm{Re}^{**},\;\; \mathrm{Re} = \frac{\rho v h}{\mu}\,, \tag{14}$$

где Re^* – значение числа Рейнольдса в начале переходного режима; Re^{**}– значение числа Рейнольдса на конце переходного режима; $\langle\langle\upsilon\rangle\rangle$ – усредненное значение скорости по поперечному сечению трубы, м/с.

Все скорости связанны с расходом $\dot{V}$ так, что из формулы (14) вытекает, что для λ_{lt} действительным является выражение:

$$\lambda_{lt} = \frac{\lambda_l^*\cdot\Delta_l + \lambda_t^{**}\cdot\Delta_t}{\Delta_l + \Delta_t}\,. \tag{15}$$

Определение величины местных сопротивлений подобно определению сопротивлений трения. Учитывая это, необходимо все местные сопротивления разбить на две группы: локализованные и делокализованые. Если переходный режим проходит через локализованное местное сопротивление, то разность давлений на его концах колеблется между значениями, которые отвечают $\mathrm{Re} = \mathrm{Re}^*$ и $\mathrm{Re} = \mathrm{Re}^{**}$. И значит, среднее по времени значение местного сопротивления ζ будет иметь такой вид:

$$\zeta_{lt} = \frac{\zeta_l^* t_l + \zeta_l^{**} t_t}{t_l + t_t},\;\; t_l = \frac{\Delta_l}{\langle\upsilon_l\rangle}\,,\;\; t_t = \frac{\Delta_t}{\langle\upsilon_t\rangle}\,,$$

$$\zeta_l^* = \zeta\left(\mathrm{Re}^*\right);\; \zeta_t^{**} = \zeta\left(\mathrm{Re}^{**}\right). \tag{16}$$

Если переходное течение преодолевает делокализованое местное сопротивление, то вместо усреднения по времени нужно усреднить значение по продольной координате так, как это делается для определения коэффициента сопротивления трения. В результате для ζ_{lt} будет правильным такое же выражение, как (15):

$$\zeta_{lt} = \frac{\zeta_l^*\Delta_l + \zeta_t^{**}\Delta_t}{\Delta_l + \Delta_t}\,. \tag{17}$$

В формулы (14)–(17) входят два параметра: Δ_l, Δ_t имеющие такие свойства: $\Delta_l(\mathrm{Re}\to\mathrm{Re}^*)\to\infty$, $\Delta_l(\mathrm{Re}\to\mathrm{Re}^*)\to 0$; $\Delta_t(\mathrm{Re}\to\mathrm{Re}^*)\to 0$, $\Delta_t(\mathrm{Re}\to\mathrm{Re}^*)\to\infty$. На основе этих граничных свойств можно подобрать большое количество зависимостей от функций Re^*, Re^{**}, Re, имеющих разное количество параметров. Эти параметры подлежат определению на основе проведения экспериментальных работ. Однако и без экспериментов можно высказать ряд соображений по поводу величин Δ_l, Δ_t. Одно из них заключается в том, что турбулентный режим течения имеет большое число степеней свободы, пропорциональное кубу отношения масштаба участка течения к наименьшему масштабу турбулентности, которым является толщина вязкого пристенного подслоя. Тогда ламинарному движению отвечает число степеней свободы порядка единицы; т.е. вязкий подслой занимает весь участок течения. Число степеней свободы переходного течения меньше, чем в турбулентном, и пропорционально числу Re. Относительно модели расслоенного течения с турбулентными и ламинарными участками это означает, что число степеней свободы $N_{\text{пер}}$ связано с числом степеней свободы турбулентного течения таким соотношением:

$$N_{\text{пер}} = \frac{N_t\cdot\Delta_t + 1\cdot\Delta_l}{\Delta_t + \Delta_l}\,. \tag{18}$$

А из пропорциональности числа степеней свободы выходит, что

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{Re}^{**}\cdot\Delta_t + \mathrm{Re}^*\cdot\Delta_l}{\Delta_t + \Delta_l}\,. \tag{19}$$

Соотношение (19) благодаря вышеуказанным свойствам длин Δ_l и Δ_t удовлетворяет таким условиям: $\mathrm{Re}(\Delta_l \to \infty) \to \mathrm{Re}^*$, $\mathrm{Re}(\Delta_l \to \infty) \to \mathrm{Re}^{**}$.

Теперь нужно принять простейшую из гипотез относительно величины Δ_l при изменении числа Re, что имеет такой вид:

$$\Delta_l \sim \frac{(\mathrm{Re}^{**} - \mathrm{Re})^m}{(\mathrm{Re} - \mathrm{Re}^*)^n} d \ , \tag{20}$$

где n и m – постоянные величины.

Если по формулам (19) и (20) найти длину Δ_t, то для нее получим такое выражение:

$$\Delta_t \sim \frac{\left(\mathrm{Re} - \mathrm{Re}^*\right)^{1-n}}{\left(\mathrm{Re}^{**} - \mathrm{Re}\right)^{1-m}} \ . \tag{21}$$

Поскольку в (20) и (21) левые части имеют размерность длины, а правые – безразмерные, то в качестве коэффициента пропорциональности нужно подобрать величину, пропорциональную единому масштабу течения – толщину трубы h. Таким образом, модель становится трипараметрической, ее параметрами являются коэффициент пропорциональности, общий для Δ_t и Δ_l и показатели степени.

Таким образом, можно выделить следующие черты вышеопределенной модели течения. Модель переходного режима течения является феноменологической и никак не связанная с микроскопическими теориями переходных режимов. Полученная модель основывается на знаниях относительно стабилизированного течения в ламинарном и турбулентном режимах. Модель использует хорошо известные данные длины стабилизации ламинарных и турбулентных режимов, а также в упрощенной геометрической форме визуально наблюдаемую картину перемежаемости в переходном режиме течения.

Полученная модель течения на основании формул (15)-(17) позволяет вычислять коэффициенты сопротивления трения и местные сопротивления по их значениям для чисел Re, что ограничивают сверху и снизу интервал переходного режима. Стабилизированный профиль, в отличие от чисто ламинарных и турбулентных режимов течения, зависит от продольной координаты вдоль оси трубы, причем периодически. Модель позволяет строить стандартные приграничные слои, поэтому может быть использована для описания тепломасообмена в переходном гидродинамическом режиме течения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление . – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 336 с.

2. Белов И. А. Моделирование турбулентных течений / И. А. Белов, С. А. Исаев. – СПб. : Балт. гос. гехн. ун-т, 2001. – 108 с.

3. Климгомович Ю. Л. Турбулентность и структура хаоса . – М. : Наука, 1990. – 320 с.

4. Джозеф Д. Устойчивость движений в жидкости . – М.: Мир, 1981. – 638 с.

5. Полянин А. Д. Уравнения нестационарного пограничного слоя: общие преобразования и точные решения / А. Д. Полянин, В. Ф. Зайцев // Теор. основы хим. технологии. – 2001. – Т. 35 – С. 120–129.

6. Маслау С. А. Гидродинамические неустойчивости и переход к турбулентности. – М.: Наука: 1984. – 344 с.

7. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982, – 224 с.

УДК 536.423:621.565

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Альтман Э.И., к.т.н., доцент, г.Одесса, Украина
E-mail: ellaa@ukr.net

Для поддержания достаточно низкой рабочей температуры тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) надо применять искусственные источники холода, в частности, холодильные установки. Испарители непосредственного охлаждения применяются как в традиционных

холодильных установках (например, испарительные батареи), так и в холодильных установках, используемых для охлаждения РЭА, что является сравнительно новой областью применения искусственного холода. Для поддержания достаточно низкой рабочей температуры тепловыделяющих элементов РЭА требуется переход от воздушного охлаждения к жидкостно-испарительному. Перспективными являются прямоточные хладоновые системы охлаждения. При этом, испаритель холодильной машины представляет собой коллекторный теплообменник, на стенках которого располагаются тепловыделяющие элементы**.** Условия работы таких испарителей накладывают определенные ограничения на выбор схемы и параметров работы холодильной установки.

Определяющими ограничениями являются:

- недопустимость перегрева действующих тепловыделяющих элементов;
- необходимость поддержания стабильной рабочей температуры;
- возможность включения и выключения произвольного числа блоков в различных сочетаниях.

Таким образом, при осуществлении прямоточной хладоновой испарительной системы охлаждения РЭА, в частности, процессора ЭВМ необходимо обеспечить такое распределение хладагента в системе параллельных каналов, чтобы исключить недопустимые перегревы в действующих тепловыделяющих элементах при любых возможных режимах их работы.

При конструировании РЭА, как правило, соблюдается модульный принцип. Тепловая нагрузка на каждый модуль неодинакова, кроме того возможно отключение модулей, что приводит к перераспределению расходов между ними. Сложность гидродинамических и теплообменных процессов в коллекторных испарителях такого типа определяет актуальность математического моделирования как на этапе проектирования, так и при эксплуатации для установления допустимых режимов работы. Такая задача возникает, в частности, при конструировании процессора быстродействующей ЭВМ.

Математическая модель системы охлаждения ЭВМ должна включать условия совместной работы компрессора и ТРВ в составе холодильной машины и учитывать возможность колебаний нагрузки по отдельным блокам и модулям от 0% до 100%.

В системе охлаждения процессора ЭВМ на базе парокомпрессионной холодильной машины (ХМ), функцию дросселя в которой выполняет терморегулирующий вентиль (ТРВ), возможны следующие схемные решения (рис.1):

1. несколько компрессорно-конденсаторных агрегатов + 1 ТРВ + m- модулей;
2. один компрессорно-конденсаторный агрегат + 1 ТРВ + m/к - модулей;
3. один компрессорно-конденсаторный агрегат + m/к ТРВ + m/к - модулей;
4. один компрессорно-конденсаторный агрегат + n·m/к ТРВ.

где: к - максимальное число компрессорно-конденсаторных агрегатов;

m - число модулей;

n - число блоков в модуле.

Схемное решение 1 нецелесообразно в связи с возможными неконтролируемыми нарушениями в распределении потоков хладагента и масла.

Схемное решение 2 обеспечивает независимую работу компрессорно-конденсаторных агрегатов, что является ее достоинством, однако приводит к необходимости организации распределения двухфазного хладагента между модулями и внутри модулей между блоками.

Схемное решение 3 усложнено увеличением количества ТРВ. Преимуществом этой схемы является то обстоятельство, что распределение хладагента между модулями осуществляется в жидкой фазе, однако внутри модуля сохраняется распределение двухфазного потока.

Схема 4 предельно усложнена - количество ТРВ соответствует числу параллельных блоков процессора, приходящихся на один агрегат. Однако в этой схеме отсутствует необходимость распределения двухфазного хладагента.

Таким образом математическая модель системы испарительных каналов должна учитывать факторы, существенно влияющие на их режим работы и эксплуатационную надежность всей системы охлаждения, такие как:

- условия совместной работы параллельных испарительных каналов при изменении числа параллельных ветвей с ТРВ;
- условия работы параллельных испарительных каналов с учетом рациональных форм организации распределения хладагента.

В связи с отсутствием надежных методов расчета таких сложных систем при неустановившихся режимах, рассматриваем математическую модель совместной работы параллельных испарительных каналов с ТРВ при следующих ограничениях:

- Стационарный режим;

• Одинаковая настройка одинаковых ТРВ;

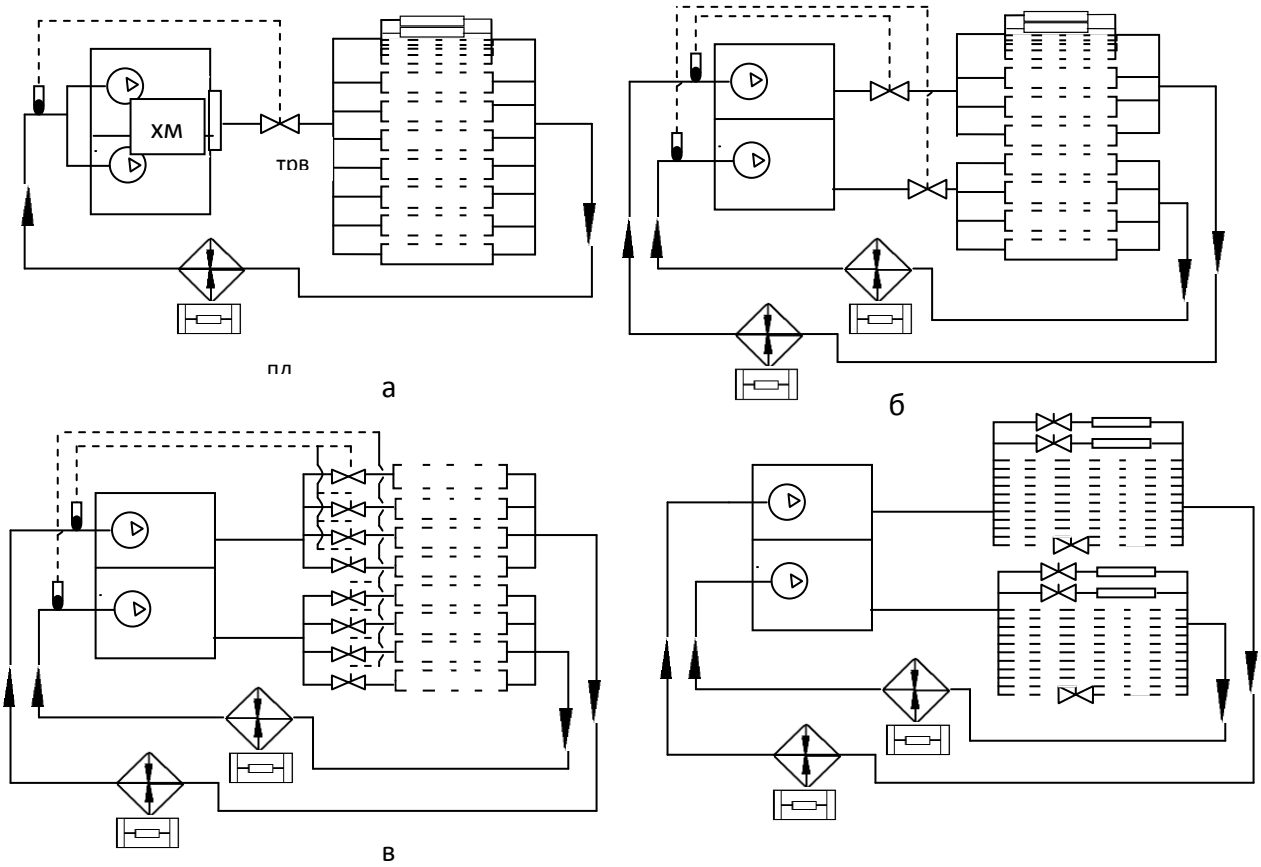
• Одинаковое температурное воздействие.

Наилучшим будет такой вариант распределения, при котором расход хладагента в каждом канале установится в полном соответствии с тепловым потоком так, чтобы на выходе из каждого канала паросодержание было близко к граничному ($\mathbf{X_{гр}}<1$) .

Величина граничного паросодержания $\mathbf{X_{гр}}$ определяется особенностями развития кризиса теплообмена при кипении второго рода и зависит от геометрии, ориентации канала, уровня тепловых потоков **q** и массовой скорости в канале **ρw**.

Критичными будут условия, при которых общая потребная холодопроизводительность процессора и дополнительного подогревателя (ПД) будут больше располагаемой холодопроизводительности системы охлаждения.

Рисунок 1 - Схемные решения гидравлической разводки системы охлаждения



Математическая модель совместной работы компрессора и ТРВ основана на рассмотрении характеристик компрессора в виде $\mathbf{G_к = f\ (P_к/P_o)}$ и ТРВ в виде $\mathbf{G_{ТРВ} = f\ (F,\ P_к/P_o)}$. Массовый расход фреона через каждый **i**-тый ТРВ определится следующим образом:

$$G_i = \mu_i \cdot F_i \sqrt{2\rho'(P_k - P_o)} \qquad (1)$$

где: **F** - площадь проходного сечения вентиля;

μ - коэффициент пропорциональности;

ρ'- плотность жидкости на входе в ТРВ;

$\mathbf{P_к}$ и $\mathbf{P_o}$ - давление до и после дроссельного отверстия .

В установившемся режиме работы расход хладагента через компрессор равен сумме расходов через ТРВ:

$$G_k = \Sigma(\mu_i \cdot F_i)\sqrt{2\rho'(P_k - P_0)} \qquad (2)$$

В первом приближении характеристику компрессора в виде зависимости массовой производительности от степени сжатия $\pi = {P_k}/{P_0}$ можно аппроксимировать линейной функцией:

$$G_k = a - b \cdot \pi \ . \qquad (3)$$

При $A_i = \mu_i \cdot F_i \sqrt{2\rho' P_0} = idem$ система уравнений (2) и (3) примет вид:

$$n \cdot A_i \cdot \sqrt{(\pi - 1)} = a - b \cdot \pi \qquad (4)$$

В результате решения уравнения (4) получаем значение расхода хладагента через каждый **i**-тый ТРВ:

$$G_i = A_i \sqrt{\left(a/b - 1\right) + 0{,}25\left(n\, A_i/b\right)^2} - 0{,}5 A_i \left(n\, A_i/b\right) \qquad (5)$$

Видно, что пропускная способность ТРВ падает с увеличением числа параллельно подключенных вентилей, при этом устанавливается меньшая степень сжатия. Возможна ситуация, когда при заданной тепловой нагрузке и условиях охлаждения в системе устанавливается такая степень сжатия и, соответственно, такой расход хладагента через компрессор, которого не хватает для обеспечения необходимого теплового режима работы испарительных блоков.

На выбор рациональной схемы холодильной установки определяющим образом влияет система распределения расходов хладагента между модулями и блоками (каналами) внутри модуля, Необходимо организовать потокораспределение для системы охлаждения процессора ЭВМ, которое при возможном отключении ряда блоков и модулей обеспечит:

- расход хладагента, необходимый для отвода тепловой нагрузки, различной для каждого канала;
- безкризисное протекание процесса кипения;
- заданное давление кипения.

Для выполнения последнего условия группа модулей снабжена регулятором давления кипения. Известным способом профилирования расхода является установка дополнительных сопротивлений, которыми могут являться дроссельные шайбы, капиллярные трубки или подстроечные вентили. Машино-ориентированная методика расчета дополнительных сопротивлений для каждого блока в пределах модуля в общем случае предполагает, что система охлаждения состоит из **m** параллельных модулей, снабженных одним регулятором давления.

Если в модуле **n** параллельных каналов, а тепловыделения имеют место только в **k** каналах, то система уравнений для расчета перепада давления ΔP_o и распределения расходов такова:

- общий расход хладагента через модуль:

$$G_0 = \sqrt{\left(\Delta P_0\right)} \sum_k^n \frac{1}{\sqrt{A_i + \Delta A_i}} - \sum_1^k \frac{Q_i B_i}{2\left(A_i - \Delta A_i\right)} + \sum_1^k \sqrt{\left[\frac{Q_i B_i}{2\left(A_i + \Delta A_i\right)}\right]^2 + \frac{\Delta P_0}{A_i + \Delta A_i}} \qquad (6)$$

- расход хладагента в каждом из **k** «включенных» каналов

$$G_i = \sqrt{\left[\frac{Q_i B_i}{2\left(A_i + \Delta A_i\right)}\right]^2 + \frac{\Delta P_0}{A_i + \Delta A_i}} - \frac{Q_i B_i}{2\left(A_i + \Delta A_i\right)} \qquad (7)$$

- расход хладагента в каналах без тепловыделения

$$G_i = \sqrt{\Delta P_0} \frac{1}{\sqrt{A_i + \Delta A_i}} \qquad (8)$$

- коэффициенты A_i, ΔA_i и B_i определяются по формулам:

$$B_i = \left[\sum \zeta_{мi} + \lambda_i \frac{l_i}{d_{эi}}\right] \frac{\rho'/\rho'' - 1}{4F_i r \rho'}$$

$$A_i = \left[\sum \zeta_{мi} + \lambda_i \frac{l_i}{d_{эi}}\right]\left[1 + x_{вх}\left(\rho'/\rho''\right)\right] \frac{1}{2F_i^2 \rho'} \qquad (9)$$

$$\Delta A_i = \zeta_i^{\partial} \frac{1 + x_{вх}\left(\rho' / \rho''\right)}{2\rho' F_i^2}$$

где: $\sum \zeta_{Mi}$ – сумма коэффициентов местного гидравлического сопротивления **i** -того канала;

ζ_i^{∂} - коэффициент добавочного местного сопротивления **i** -того канала;

$\mathbf{F_i}$ - площадь поперечного сечения канала.

Алгоритм расчета системы охлаждения объекта РЭА с параллельными модулями и каналами реализует: 1) определение добавочных местных сопротивлений при заданном законе распределения и отключения тепловой нагрузки между модулями и параллельными каналами в пределах модуля; 2) расчет потокораспределения в системе охлаждения; 3) определение паросодержания на выходе из испарительных каналов и температурного режима стенки канала.

Расчетно-теоретический анализ проводился для реальной коллекторной системы непосредственного охлаждения процессора ЭВМ.

Конструктивно система охлаждения представляет две высокотемпературные холодильные машины, которые могут работать на общий испаритель или на два независимых испарителя. В состав каждой холодильной машины входят герметичный компрессор, конденсатор, регенеративный теплообменник системы контроля основных параметров и защиты компрессоров.

Штатным хладагентом является хладон-22, рабочая температура насыщения в испарителе 15 - 17^{0}С, температура конденсации 40-45^{0}С поддерживается водорегулирующим вентилем. Испарителем является система параллельных каналов. Процессор состоит из 56 каналов, общее потребление холода которыми составляет 17 кВт. Требование равномерности температурного поля процессора может быть выполнено только если исключить полное выпаривание хладагента в рабочих каналах блока, то есть максимально допустимое значение паросодержания на выходе из каналов $\mathbf{x^{вых}_i < x_{гр}}$ **($\mathbf{x_{гр} \approx 0{,}9}$).**

Анализ распределения расходов между модулями и внутри каждого модуля проводился при следующих условиях:

1. Система охлаждения состоит из восьми модулей. Изменения тепловыделения происходят только в одном из них, тепловая мощность остальных модулей принимается постоянной.

2. Общий расход через систему охлаждения и отдельные модули остается постоянным при изменении тепловыделения в блоках.

3. Коэффициент запаса по расходу К = 1,2.

4. Положение ТРВ и регулятора давления при отключении блоков не меняется.

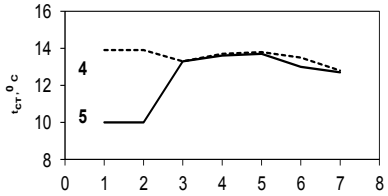
5. Распределение подстроечных сопротивлений рассчитывается для случая выключения двух верхних блоков и принимается постоянным при дальнейшем изменении тепловыделения в блоках.

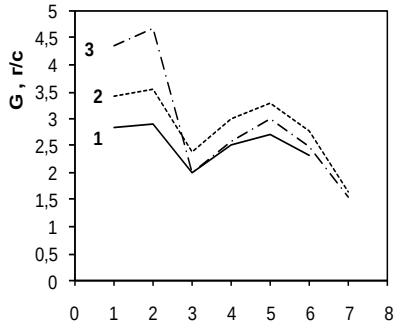
6. Температура кипения хладагента в каналах остается постоянной и равной t_o=10^{0}С. После ТРВ пар байпасируется и в каналы поступает жидкий хладагент с $x_{вх}$=0, испарение при дросселировании на подстроечных вентилях не учитывается.

7. Паросодержание на выходе из испарительных каналов при номинальном режиме работы принимается $\mathbf{x_{вых}= 0{,}9}$.

На рис.2 приведены тепловые нагрузки и результаты расчета распределения расходов в одном модуле. Из полученных результатов следует, что обеспечение нормальных тепловых режимов в системе параллельных испарительных каналов достигается путем установки дополнительных сопротивлений на входе в каждый канал, что гарантирует необходимый уровень эксплуатационной надежности. Это дает возможность применить схемное решение, соответствующее рис.1г, в котором возможно совместить в одном регулирующем устройстве две основные функции – дросселирование с производством холодильного эффекта и настройку гидравлического сопротивления канала для обеспечения заданного расхода, согласующегося с тепловой нагрузкой.

Предложенная математическая модель и методика расчетного анализа коллекторной системы охлаждения РЭА дает возможность установить основные режимные параметры при варьировании числа модулей в системе, числа блоков в модуле и при изменении внешних условий.





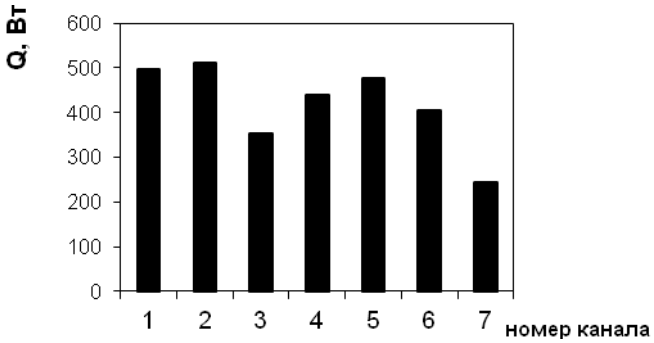


Рисунок 2 – Распределение расходов хладагента, температуры стенки и гистограмма тепловой нагрузки для одного модуля.
1 – распределение расходов при номинальном режиме;
2 – распределение расходов при К=1,2 все каналы включены;
3 – распределение расходов при К=1,2 два канала выключены (Q_1=Q_2=0);
4 – температура стенки при всех включенных каналах;
5 – температура стенки при двух выключенных каналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марон В.И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах / В.И. Марон. — М: Лань, 2012. — 248 с.
2. Кутепов А.М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А.М. Кутепов, Л.С, Стерман, Н.Г. Стюшин. — М.: Высшая школа, 1986. — 448 с.

УДК 664.641, 664.78

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ СВОЙСТВ ПШЕНИЦЫ И ПШЕНИЧНО-ПЫРЕЙНОГО ГИБРИДА

Барыльник К.Г., Кузнецова Л.И., д.т.н., Лаврентьева Н.С., Савкина О.А., к.т.н., Чикида Н.Н., к.с.-х.н., Российская Федерация, г.Санкт-Петербург
E-mail: barylnikk@yandex.ru, niihleba@yandex.ru, niihleba@yandex.ru, 1103savkina@mail.ru, n.chikida@mail.ru

Пшенично-пырейные гибриды относятся к числу относительно новых культур, селекция которых является перспективным направлением. Известно, что пшеница, которая широко применяется в хлебопечении, имеет серьезные недостатки, связанные с узостью генетического материала вовлеченных в селекцию сортов. Как правило, используются высокопродуктивные сорта пшеницы, в родословные которых входят известные мировые хлебные шедевры как Безостая 1, Мироновская 808, Саратовская 29 и их потомки, что приводит к потере адаптивности к различным лимитирующим факторам произрастания и в значительной степени к повышению риска развития эпифитотий и эпизоотий. Что в свою очередь, практически значительно сказывается на качестве самого зерна и приводит к снижению его хлебопекарных показателей.

В связи с этим в Главном Ботаническом Саду РАН в лаборатории отдаленной гибридизации им. Н.В. Цицина были получены новые формы злакового растения – пшенично-пырейные амфидиплоиды хлебопекарного направления использования. В условиях Московской области они показали наряду с высокой урожайностью и высокие хлебопекарные качества. Для расширения ассортимента зернового клина в Нечерноземье нами в 2014- 2015г. были выращены на полях Ленинградской области пшенично-пырейный амфидиплоид – предсорт «Нелли», а также многолетние пшенично-элимусный гибрид пшеничного типа – «Рубежная», и номерной амфидиплоид. Многолетний сорняк пырей, и элимус тоже относятся к семейству злаковых. Пленчатая зерновка некоторых видов пырея и элимуса может содержать большое количество клейковины, при этом отличительными чертами дикарей является их высокая жизнеспособность, стойкость против неблагоприятных климатических условий, морозо- и засухоустойчивость, а также устойчивость к болезням и вредителям.

Целью настоящих исследований явилась сравнительная оценка хлебопекарных свойств пшеницы и пшенично-пырейного гибрида селекции ГБС РАН –Главного Ботанического Сада РАН, выращенных в Ленинградской области.

При оценке хлебопекарных свойств сортовой муки из зерна предсорта «Нелли» в сравнении с мукой из зерна многолетней пшеницы и зерна пшеницы сорта «Рубежная» (образцы муки представлены ведущим научным сотрудником, к.с.-х.н. Отдела ГР пшеницы, тритикале и эгилопсов ФГБНУ ВИР Н.Н.Чикида), получены следующие результаты (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества образцов муки из зерна образцов ВИР

Наименование показателей	НД на метод испытаний	Значение показателей		
		многолетней пшеницы	сорта «Рубежная»	предсорта «Нелли»
Влажность, %	ГОСТ 9404	10,0	10,0	10,0
Белизна, ед.пр.	ГОСТ 26361	60	55	55
Число падения, с	ГОСТ 27676	222	216	119
Количество сырой клейковины, %	ГОСТ 27839	27,6	22,9	не отмылась
Качество сырой клейковины: ИДК, ед. пр.	ГОСТ 27839	60 I гр., хорошая	60 I гр. хорошая	-
Кислотность, град.	ТХК ХП [1]	3,2	2,2	2,8

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует, что по показателю белизны и количеству клейковины, муку из зерна многолетней пшеницы можно охарактеризовать, как хлебопекарную высшего сорта, а из сорта зерна «Рубежная» - общего назначения тип М 55-23. Мука из зерна предсорта «Нелли» по показателю белизны соответствовала муке общего назначения тип 55, однако клейковину из нее отмыть не удалось.

Результаты технологической оценки трех образцов сортовой муки по пробной лабораторной выпечке (ГОСТ 27669-88) представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что наилучшими органолептическими и физико-химическими показателями характеризовался хлеб из муки, смолотой из зерна сорта «Рубежная». Так, удельный объем и сжимаемость мякиша хлеба из муки «Рубежная» были выше по сравнению с этими показателями у хлеба из муки «многолетней пшеницы» на 18% и 68% соответственно.

Хлеб из муки зерна предсорта «Нелли», выпеченный по пробной лабораторной выпечке для пшеничной муки имел плотный мякиш, недостаточно развитую пористость, бугристую дырчатую поверхность (рис. 1).

а б в а б в

Рисунок 1 – Хлеб формовой, выпеченный по методу пробной лабораторной выпечки (ГОСТ 27669-88) из муки сортового помола, смолотой из зерна многолетней пшеницы (а), сорта «Рубежная» (б), предсорта «Нелли» (в)

Таблица 2 – Показатели пробной лабораторной выпечки по ГОСТ 27669-88

Наименование показателей	Значение показателей теста и хлеба из муки зерна		
	многолетней пшеницы	сорта «Рубежная»	предсорта «Нелли»
Тесто			
Влажность расчётная, %	43,5	43,5	43,5
Кислотность в конце брожения, град	2,3	2,4	3,8
Масса тестовой заготовки, г	250	250	250
Подъёмная сила, мин	16	5	6
Продолжительность расстойки, мин.	130	45	26
Органолептическая оценка	эластичное, мягкое	более плотное, менее эластичное, чем из образца «многолетняя пшеница»	плотное, влажное на ощупь, не эластичное, скорее «ломающееся»
Хлеб			
Удельный объём, $см^3/г$	2,52	2,98	1,96
Сжимаемость мякиша, ед.пр.	50	84	34
Внешний вид:			
- форма	правильная, без подрывов	правильная, с не-крупным подрывом	без подрывов
- поверхность	ровная	ровная	неровная, бугристая
Цвет корки	светло-коричневый		
Состояние мякиша:			
- цвет	серый, темнее всех образцов	белый, самый светлый из всех образцов	серый
- эластичность	эластичный	эластичный	плотный, не заминается
Пористость:			
- по равномерности	развитая, неравномерная	развитая, наиболее равномерная из всех образцов	недостаточно развитая
- по крупности	средняя	средняя,	мелкая
- по толщине стенок пор	тонкостенная	тонкостенная	толстостенная

На основании полученных данных был сделан вывод о неэффективности использования для оценки хлебопекарных свойств пшенично-пырейного гибрида методов, применяемых для пшеничной муки. В связи с этим, в дальнейшем оценку хлебопекарных свойств муки из зерна пшенично-пырейного амфидиплоида предсорта «Нелли» проводили по методике ВИР на органических кислотах и по методике Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ НИИ хлебопекарной промышленности на закваске (далее СПбФ ГОСНИИХП) [2], применяемых для оценки хлебопекарных свойств ржаной муки.

Размол зерна осуществляли на лабораторной мельнице фирмы «Brabender» без отделения оболочек. Результаты определения качества муки, полученной после размола зерна, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели муки предсорта «Нелли»

Наименование показателей	НД на метод испытаний	Значение показателей
Влажность, %	ГОСТ 9404	9,2
Белизна, ед.пр.	ГОСТ 26361	3,0
Зольность, %	ГОСТ 27494	1,76
Число падения, с	ГОСТ 27676	123
Количество сырой клейковины, %	ГОСТ 27839	не отмылась
Кислотность, град	ТХК ХП [1]	2,0

Анализ данных таблицы 3 показывает, что мука из зерна предсорта «Нелли» характеризовалась низким показателем белизны, высокой зольностью, а по показателю числа падения ее можно охарактеризовать, как муку с высокой автолитической активностью. Клейковина из данного образца муки не отмывалась.

Для выпечки по методике ВИР количество воды на замес теста рассчитывали исходя из водопоглотительной способности муки (далее ВПС муки) при максимальной консистенции теста 400 ЕФ. ВПС муки при этом составила 68%. Залив воды для выпечки по методике СПбФ ГОСНИИХП устанавливали исходя из консистенции теста с закваской - 180 ЕФ и 200 ЕФ при скорости вращения лопастей фаринографа 30 об./мин.

Анализ полученных результатов (табл. 4) показал, что хлеб из цельнозерновой муки предсорта «Нелли», выпеченный по методике ВИР, имел более низкую кислотность и лучшую формоустойчивость по сравнению с хлебом, выпеченным по методике СПбФ ГОСНИИХП, однако характеризовался более плотным и менее эластичным мякишем (рис. 2). По органолептическим показателям, вкусу и запаху хлеб напоминал изделия из ржаной обдирной муки или смеси ее с пшеничной мукой.

а б в

Рисунок 2 – Хлеб подовый, выпеченный на органических кислотах (а), на закваске из теста с консистенцией 180 ЕФ (б) и 200 ЕФ (в).

Таблица 4 – Показатели пробной лабораторной выпечки полуфабрикатов и хлеба по методикам ВИР и СПб ГОСНИИХП

Наименование показателей	Значение показателя		
	ВИР	СПбФ ГОСНИИХП при консистенции теста	
		180 ЕФ	200 ЕФ
Закваска			
Кислотность в конце брожения, град	-	11,6	11,6
Подъёмная сила, мин	-	19	17
Тесто			
Температура начальная, °С	31,5	30,5	29,5
Кислотность в конце брожения, град	5,6	9,5	10,2
Подъёмная сила, мин	-	11	6
Продолжительность брожения, ч	без брожения	1	1
Масса тестовой заготовки, г - для формового хлеба - для подового хлеба	 300 207	 не выпекалась 500	 610 500
Продолжительность расстойки тестовой заготовки для хлеба, мин - формового - подового	 46 20	 не выпекалась 27	 25 20
Органолептическая оценка	плотное, влажное на ощупь, нелипкое; значительно менее эластичное по сравнению с пшеничным и менее вязкое, чем ржаное;		
Хлеб			
Кислотность, град	4,3	7,0	7,4
Формоустойчивость	0,43	0,27	0,33
Внешний вид: - форма			
- для формового хлеба	правильная, без подрывов	без подрывов	
- для подового хлеба	нормальная, нерасплывчатая	расплывчатая	
- поверхность	неровная, бугристая		

Цвет корки	коричневый	
Состояние мякиша:	плотный, слегка заминается	более мягкий и эластичный, по сравнению с мякишем хлеба по методу ВИР; есть небольшая заминаемость. Слегка крошащийся
Пористость:	недостаточно развитая, мелкая, толстостенная	развитая, мелкие и средние поры, толстостенная

Таким образом, результаты исследований показали, что при оценке хлебопекарных свойств муки зерна из пшенично-пырейного гибрида будущего сорта, преимущество следует отдавать методам, основанным на применении заквасок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижова К.Н. Технохимический контроль хлебопекарного производства. 5-е изд., перераб. и доп. / К.Н, Чижова, Т.И. Шкваркина. - М.: Пищевая промышленность, 1975. - 480 с.

2. Технологические рекомендации по улучшению качества хлебобулочных изделий из муки с пониженными хлебопекарными свойствами. -М.: ООО «Вторая типография», 2010.- 98с.

УДК 628.161 + 66.083.8

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЛЬДА В КРЫТЫХ КАТКАХ

Башмаков Д.А., к.т.н., Исрафилов И.Х., д.т.н., проф., Самигуллин А.Д.
Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО К(П)ФУ, г. Набережные Челны, Российская Федерация
E-mail: DABashmakov@kpfu.ru

Сдерживающим фактором развития ледовых видов спорта в России является недостаточное развитие технологии высококачественного спортивного льда для крытых катков[1].

Заливка массива льда, крытого катка талой ледниковой водой, с которой не может сравниться по свойствам ни один водопровод крупного города – сложная задача для многих крытых катков.

Например, талая ледниковая вода используется для заливки массива льда катка Калгари, озерная высокогорная вода – в Солт-Лейк-Сити. Поэтому приближение по скоростным свойствам массива льда к лучшим мировым каткам или к одному из лучших мировых равнинных крытых катков, например, катку Херенвейна в Голландии, с использованием городской водопроводной воды – является актуальной задачей. Свойства массива спортивного льда обеспечивает технология его обслуживания, в которую входит и подготовка воды.

Подготовка воды для заливки ледяных покрытий крытых спортивных комплексов на практике реализуется с помощью типовых технологических схем водоподготовки, включающих традиционные стадии предварительного фильтрования от микрочастиц, использование угольного фильтра, фильтра удаления железа, ионообменника и установки обратного осмоса для удаления солей, органических соединений и хлора [2].

Продуктом такой обработки является вода трех степеней очистки: умягченная, деминерализованная и глубоко деминерализованная. Такая вода позволяет получить качественный массив льда под хоккей или фигурное катание, однако получить беговой лед с высокими скоростными свойствами на уровне лучших мировых катков – задача намного более сложная. Нагрузка на лед в ходе тренировочных и соревновательных процессов конькобежцев существенно ниже нагрузки от фигуристов и хоккеистов.

Крытые катки в РФ, чаще всего, одновременно (в течение одного дня) обеспечивают тренировочные процессы конькобежцам, хоккеистам с мячом и фигуристам. В выходные дни проводятся сеансы массового катания. Такие нагрузки вынуждают заливать универсальный лед, способный выдержать повышенные нагрузки от хоккеистов и посетителей сеансов массовых катаний.

Источником водоснабжения крытых искусственных катков обычно является городская водопроводная сеть. По всем показателям качества исходная вода соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-1 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных

систем питьевого водоснабжения. Контроль качества воды» [3]. Такая вода требует дополнительной предварительной обработки для обеспечения высокоскоростного массива спортивного льда: умягчение, деминерализация и деаэрация.

Стандартные схемы деаэрации требуют больших тепловых затрат на первичный нагрев умягчённой воды и неэнергоэффективны, а деаэрированная вода, имея температуру 65°С после деаэрации, попадает в систему охлаждения, остывая и безвозвратно теряя тепловую энергию.

Предлагается модернизированная энергоэффективная схема вакуумной деаэрации воды для крытых катков (рис. 1).

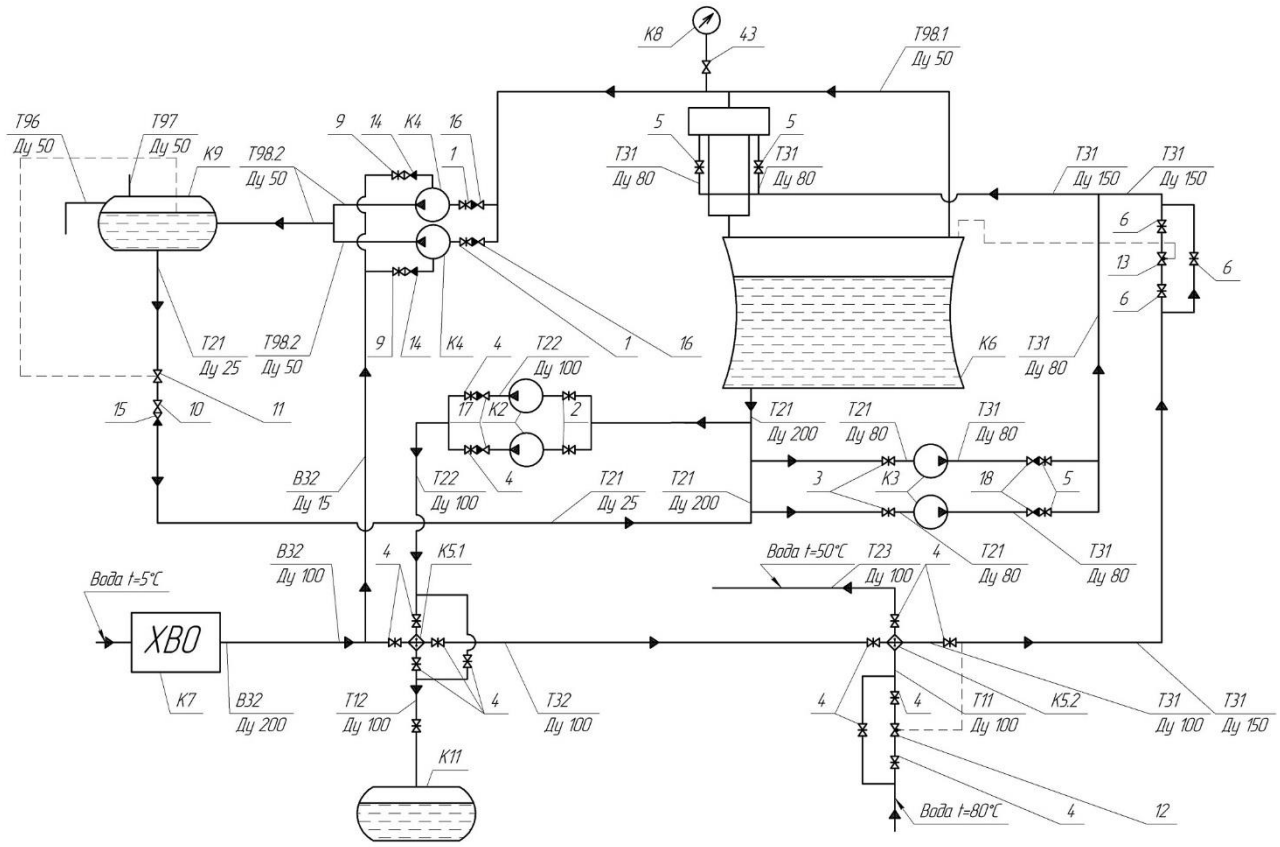


Рисунок 1 – Схема деаэрации

Стоит отметить такую особенность данной схемы вакуумной деаэрации: возможность варьирования производительностью в широких пределах, благодаря циркуляционному контуру с насосами Whilo(К3).

Исходная сырая вода из водопроводной сети проходит через химводоочистку. Химочищенная вода поступает через водо-водяной теплообменник (К5.1), где нагревается до температуры 49°С, за счёт рециркуляции теплоты от деаэрированной воды (t=65 °С, Р=8 атм.), далее на втором водоводяном теплообменнике (К5.2) происходит окончательный подогрев водыдо температуры 65°С, за счёт горячей воды (t=80 °С, Р=8 атм.) и подаётся на вакуумный деаэратор СДВ(В)-25. В вакуумном деаэраторе нагретая химочищенная вода (t=65 °С, Р=3,5 атм.) вскипает при вакууме (-0,06 Мпа) и деаэрируется. Деаэрированная вода (t=65 °С, Р=1 атм.) стекает в деаэраторный бак, откуда насосами (К2) подается в теплообменник (К5.1) и охлаждаясь до 10 °С, поступает в ёмкость хранения (К11) для последующего использования.

Выделившаяся в деаэраторе парогазовая смесь (t=65 °С, Р=0,4 атм.) удаляется из деаэратора при помощи вакуумного водокольцевого насоса (К4). В вакуумном водокольцевом насосе парогазовая смесь смешивается с холодной водой, поступающей в насос для охлаждения, и сливается в бак газоотделитель К3. По мере накопления отработанной воды в баке газоотделителе открывается соленодный клапан 11, и отработанная вода поступает на всасывание оборотного насоса. Оборотный насос возвращает часть деаэрированной воды обратно в деаэратор, происходит постоянная рециркуляция.

Нагрев химочищенной воды во втором водо-водяном теплообменнике К5.2 выполняется прямой сетевой водой. Регулирование уровня в деаэраторном баке выполняется при помощи регулирующего клапана 13 с эл. приводом, установленного на линии подачи, нагретой химочищенной воды на деаэратор.

Результатом проделанной работы является энергоэффективная схема водоподготовки крытых катков, которая позволит снизить затраты при подготовке воды и повысить качество ледового покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загайнов М.В., Яковлева Г.П., Ершова С.А. Технология спортивного льда – путь к рекордам // Федеральный справочник. Спорт России. Том 2. – М.:Президент, 2010 – 512 С.

2. Дмитриев Е.А., Кузнецова И.К., Ершов С.А. Модификация технологической схемы водоподготовки в производстве высококачественного льда для соревнований в крытых спортивных комплексах. // Химическая технология. – 2008. - №2.- С.88-92.

3. СанПиН 2.1.4.1074-1 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества воды».

УДК 621.362; 621.315.562

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИКОВ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Булат Л.П. д.ф.-м.н., Новотельнова А.В. к.т.н., Ережеп Д.Е., Тукмакова А.С., Протопопов И.М., Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Российская Федерация
E-mail: darhan1305@gmail.com

Истощение ископаемых энергоресурсов делает все более востребованными возобновляемые и альтернативные источники энергии, а также энергосберегающие технологии. Одним из возможных методов повышения эффективности энергетических установок является использование низкопотенциального тепла. Утилизация бросового тепла возможна с использованием термоэлектрических генераторов (ТЭГ), в основе работы которых лежит эффект Зеебека [1]. Термоэлектрические генераторы имеют ряд принципиальных достоинств, таких как надежность, долговечность, простота управления, произвольная ориентация в пространстве, отсутствие движущихся частей и пр. ТЭГ незаменимы там, где требуется надежный источник электроэнергии, способный работать десятки лет без вмешательства человека, например, в дальнем космосе. В связи с этим в последние годы возрос интерес к исследованиям и разработкам в области термоэлектрического преобразования энергии.

Коэффициент полезного действия термоэлектрических преобразователей определяется свойствами термоэлектрических материалов (термоэлектриков), из которых он выполнен. Эффективность термоэлектриков описывается параметром термоэлектрической добротности *Z*.

$$Z = \frac{\sigma\alpha^2}{\kappa},$$

где σ, α, κ – коэффициенты электропроводности, термоэдс и теплопроводности термоэлектрика.

Наиболее перспективным путем повышения *Z* термоэлектриков является использование в качестве исходного материала наноструктурированных порошков термоэлектрических материалов. Процесс компактирования нанопорошков должен происходить в условиях, позволяющих сохранить наностуктурный размер зерен и при этом достичь достаточной механической прочности компакта. Эти условия позволяет соблюсти метод искрового плазменного спекания (ИПС) [2]. Материалы, полученные методом ИПС, обладают лучшими энергетическими и механическими показателями по сравнению с другими методами формирования термоэлектриков[3-7]. Увеличение термоэлектрической добротности наноструктурированных термоэлектриков может быть связано с туннелированием носителей через зазор между нанозернами, дополнительным рассеянием фононов на границах нанозерен и энергетической фильтрацией носителей через барьеры [8-11].

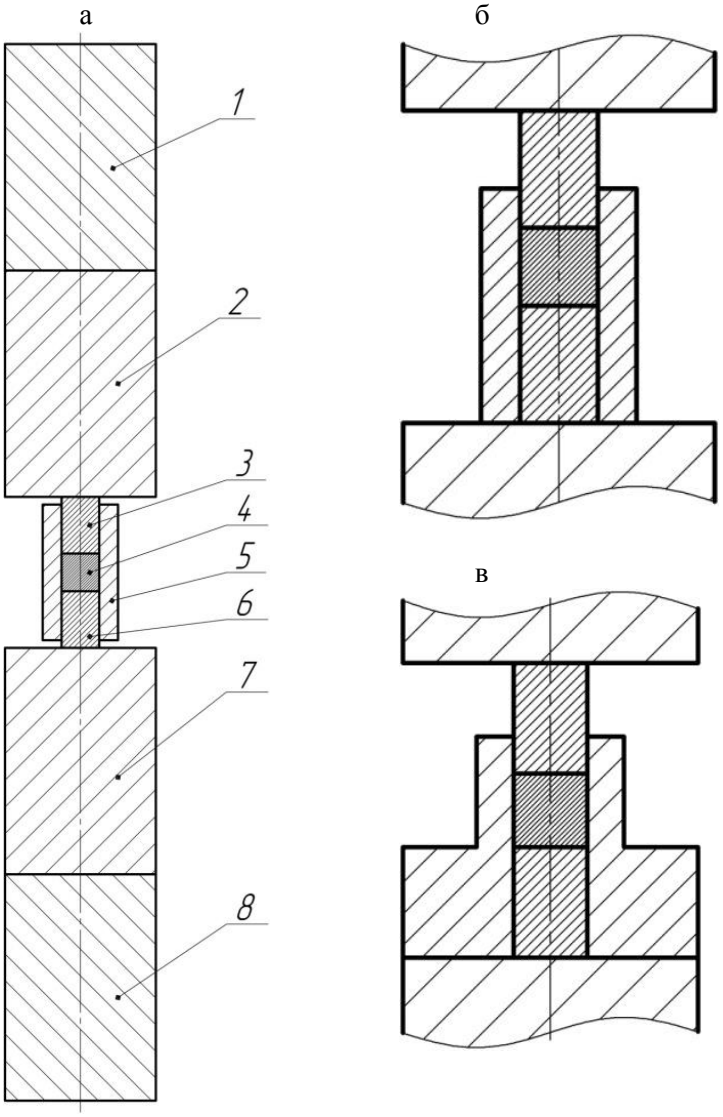


Рисунок 1 − Схематическая модель установки искрового плазменного спекания (а) и фрагменты установки с различными конфигурациями матрицы пресс-формы: цилиндрическая матрица, контактирующая с графитовой вставкой (б); матрица пресс-формы с расширенным основанием (в).
1,8 – верхний охлаждаемый электрод (d=80 мм, h=60 мм); 2, 7 – графитовые вставки (d=80 мм, h=60 мм); 3, 6 – верхний и нижний графитовые пуансоны (d=20 мм, h=20 мм); 4 – образец (d=20 мм, h=5 мм); 5 – матрица пресс-форма (d_{int}=40 мм, d_{ext}=20 мм, h=40 мм);

Процесс ИПС осуществляется в вакууме воздействием на образец коротких импульсов электрического тока. Через верхний и нижний охлаждаемые водой электроды (дет.1 и 8, рис.1) пропускается импульсный ток. Длительность импульса составляет 3.3 мс, скважность 2.2; за каждым пакетом из 12 импульсов следует 2 периода отключения тока [12, 13]. В [14] было показано, что скин-эффектом можно пренебречь. Выделяемое тепло Джоуля производит нагрев образца и окружающих его элементов установки.

Моделирование ИПС термоэлектриков представляет собой мультифизическую задачу, учитывающую электрические, тепловые и механические процессы. Для исследования распределения температуры и электрического потенциала в рабочей камере установки ИПС была использована установка типа SPS-511S (Япония). В качестве исследуемого материала были выбраны твердые растворы на основе халькогенидов висмута и сурьмы, как наиболее эффективные и широко применяемые термоэлектрики[15-18].

Моделирование выполнялось методом конечных элементов в программном пакете COMSOLMultiphysics. Основными уравнениями задачи являются законы сохранения заряда

$$\mathrm{div}\mathbf{j} = 0,$$

энергии:

$$c_p\rho\frac{\partial T}{\partial t}+\mathrm{div}\mathbf{q}+\mathbf{j}\nabla\varphi=0$$

и феноменологические законы Ома и Фурье для плотностей тока **j** и потока тепла **q**

$$\mathbf{j}=-\sigma\nabla\varphi,\ \mathbf{q}=-\kappa\nabla T\ .$$

Здесь: φ электрохимический потенциал, σ и κ – соответственно коэффициенты электро- и теплопроводности, c_p и ρ – удельная теплоемкость при постоянном давлении и плотность материала.

В модели приняты следующие граничные условия для тепловых величин:

1. Внешняя поверхность камеры имеет температуру, равную температуре окружающей среды 300 К.

2. На нижнем и верхнем электродах для описания водяного охлаждения использовались условия конвективного теплообмена

$$q_{\mathrm{conv}} = K_b(T-T_0),$$

где для контакта стали с водой был выбран коэффициент K_b = 370Вт/(м^{2}К).

3. Между внутренней поверхностью камеры и внешней поверхностью рабочих частей установки происходит теплообмен, описываемый уравнениями:

Плотность потока излучения реального тела (для всех поверхностей внутри камеры), J_i, Вт/м^2

$$J_i=(1-\varepsilon)G_i+\varepsilon e_b(T)=(1-\varepsilon)(G_{m,i}(J_i)+G_{ext,i}+G_{amb,i})+\varepsilon e_b(T)$$

Здесь: $(1-\varepsilon)G_i$- плотность отраженного лучистого потока; ε-коэффициент черноты реального тела (параметры ε для графита и стали, были приняты равными 0,75 и 0,675 соответственно); $\varepsilon e_b(T)$- плотность лучистого потока, испускаемого телом, $e_b(T)$, Вт/м^2 -плотность потока излучения абсолютно черного тела,

$$e_b(T)=\sigma T^4,$$

где: σ=5,67*10^{-8} Вт/(м^{2}К^4)–постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура.

G-плотность потока лучистой энергии, падающего на поверхности установки, Вт/м^2

$$G=G_m+G_{ext}+G_{amb},$$

где: G_m-плотность лучистого потока от поверхности установки, G_{ext}- плотность лучистого потока от внешних источников, G_{amb}- плотность лучистого потока исходящего от окружающей среды

$$G_{amb}= F_{amb}e_b(T_{amb}),$$

где F_{amb}- угловой коэффициент, зависящий от площади и взаимного расположения поверхностей.

Суммарная плотность теплового потока с учетом затрат на радиацию Вт/м^2 описывается при помощи закона Фурье в векторной форме

$$-\boldsymbol{n}(-k\nabla T)= \varepsilon(G-e_b(T)),$$

где: $\boldsymbol{n}$- вектор нормали, k-коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; ∇T-градиент температуры.

В качестве граничных условий для электрических величин на верхнем стальном электроде задавалось значение плотности тока, нижнему электроду присваивался потенциал, равный потенциалу земли. Нагрев токопроводящих частей установки происходит за счёт джоулева нагрева.

В качестве граничных условий по тепловых величин для боковых поверхностей было задано условие радиационного теплоотвода нагревающихся частей установки в окружающую среду по закону Стефана-Больцмана

$$-\boldsymbol{n}(-\mathrm{k}\nabla T)= \varepsilon\sigma(T_{amb}{}^4- T^4)$$

Граничные условия на верхнем и нижнем торцах стальных электродах соответствовали конвективному теплоотводу 370 Вт/м^2.

Для электрических величин граничные условия задавалось значение плотности тока на верхнем электроде. На нижнем электроде был задан потенциал, равный потенциалу земли.

При разработке модели было учтено, что процесс искрового плазменного спекания проходит под давлением [12, 13]. В граничных условиях модели значение давления задавалось постоянным и прикладывалось к верхней границе пуансона 50 МПа. Сила, действующая на установку, определяется уравнением

$$F_A = -p\boldsymbol{n},$$

где p– давление, прикладываемое к верхнему охлаждаемому электроду (Па).

Нижний стальной электрод, нижняя графитовая вставка и нижний пуансон считались неподвижными и недеформируемыми. Данное условие записывается уравнением

$$u=u_{0z},\ u_{0z}=0;\ w=w_{0r},\ w_{0r}=0,$$

где: u-смещение по оси z, мм; u_{0z}-смещение по оси z в начальный момент, мм; w-смещение по оси r, мм; w_{0r}-смещение по оси r в начальный момент, мм.

С использованием модели, учитывающей механическое воздействие на образец, рассмотрены различные варианты контакта поверхностей матрицы пресс-формы и нижней графитовой вставки, а именно, центральное расположение матрицы пресс-формы относительно спекаемого образца без контакта матрицы пресс-формы с нижней вставкой и расположение матрицы со смещением к нижней графитовой вставке с наличием электрического и теплового контактамежду ними.

В первом случае в установке и в образце термоэлектрика в процессе спекания формируется зеркально симметричное электрическое и тепловое поле. Такое расположение матрицы пресс-формы следует использовать в случае спекания материалов однородного состава. Как видно из рис.1 этот режим позволяет создать в процессе температурное поле в образце с перепадом температуры между центром образца и его периферией, не превышающий 1,5% от температуры в центре образца.

Появление контакта с нижней графитовой вставкой искажает температурное поле в образце: в нем возникает градиент температуры. В результате верхняя граница образца нагревается сильнее по сравнению с нижней. Такой способ нагрева в процессе спекания позволяет спекать неоднородные по составу материалы (с распределением неоднородности состава вдоль вертикальной оси) или сегментированные ветви термоэлементов.

На рис.2, а представлено распределение температуры по вертикальной оси z для установок с симметричной, смещенной вниз к графитовой вставке и расширенной матрицы пресс-формы.

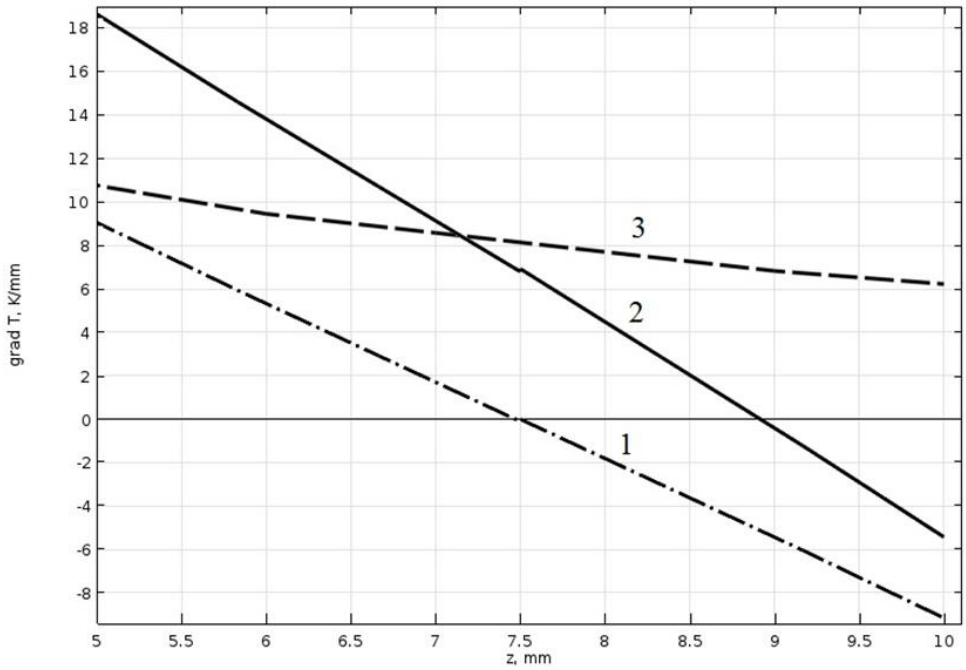
Температура на нижней границе фиксированная и равна 733 K, эта температура, при которой становится возможным спекание теллурида висмута с сохранением наноструктурных размеров частиц и достижением высоких значений термоэлектрической эффективности спеченного материала [10]. При симметричном расположении матрицы температура распределяется в образце симметрично относительно центра. На верхней и нижней границе образца температуры равны, в центре возникает незначительный перегрев на несколько градусов. При наличии контакта между матрицей и нижней графитовой вставкой возникает неравномерное распределение температурного поля, разница температур между нижней и верхней границей составляет десятки градусов. Добавление расширенного основания увеличивает перепад температуры между верхней и нижней границами образца.

На рис. 2, б представлено распределение температурного градиента для трех случаев расположения матрицы.

Большее значение удельного сопротивления термоэлектрика по сравнению с графитом способствует более сильному нагреву материала образца пресс-формы по сравнению с его окружением. Конвективное охлаждение стальных электродов способствует перераспределению тепла.

В случае симметричногорасположения матрицы градиент также симметричен относительно центра образца, в котором его значение равно нулю.

а



б

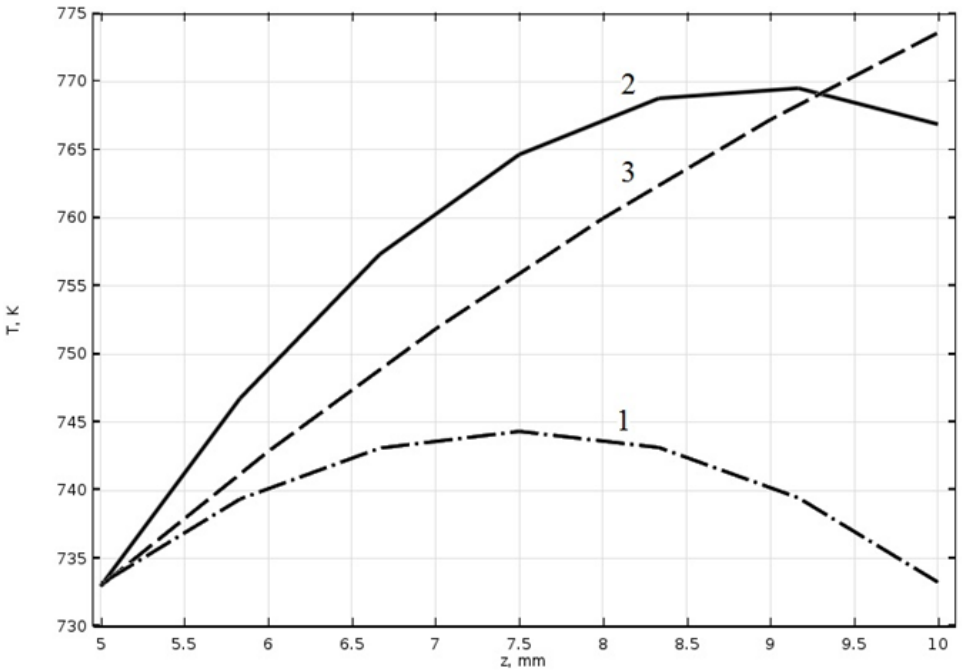


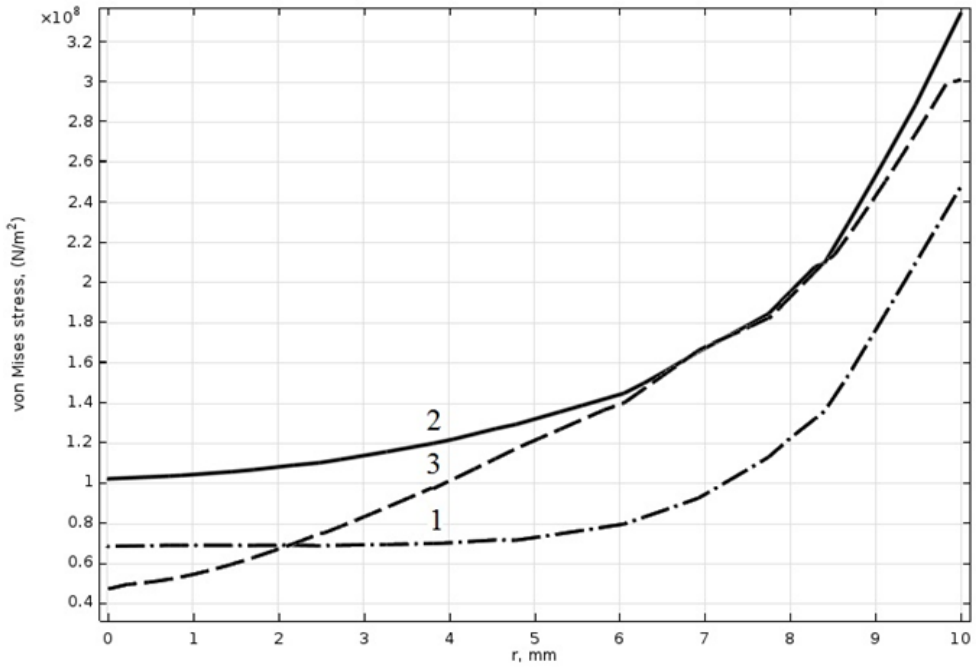
Рисунок 2 – Распределение температуры (а) и осевого градиента температуры (б) вдоль вертикальной оси образца.

1- симметричное расположение матрицы, 2- цилиндрическая матрица образует контакт с нижней графитовой вставкой, 3- матрица с расширенным основанием

При сдвиге матрицы к нижней графитовой вставке происходит смещение области, в которой градиент температуры равен нулю, в верхнюю часть образца.

При добавлении расширенного основания матрицы область нулевых значений осевого градиента температуры в образце отсутствует, что свидетельствует о непрерывном росте температуры по всей высоте образца. (рис.2, а, кривая 3).

а



б

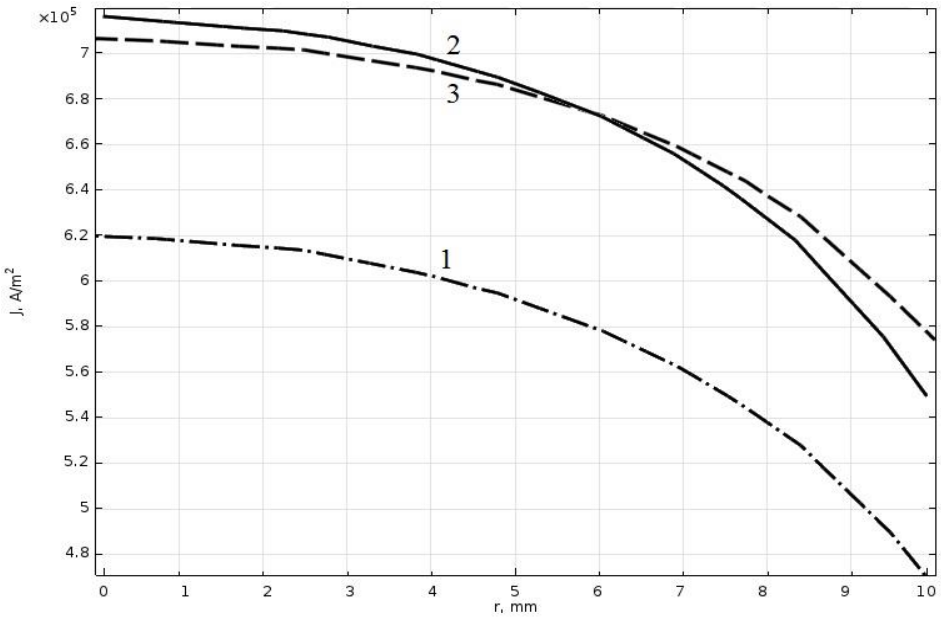


Рисунок 3 – Радиальное распределение эквивалентных нормальных напряжений (а) и плотности тока (б) в центральном поперечном разрезе образца. 1 - симметричное расположение матрицы, 2 - матрица образует контакт с нижней графитовой вставкой, 3 - матрица с расширенным основанием

Проведение процесса спекания под воздействием давления и тепловое расширение образца и графитовых пуансонов и матрицы пресс-формы способствуют появлению в образце механических напряжений.

Эквивалентные напряжения (рис. 3, а) в центральной части образца расспределяются равномерно, в периферийной области они увеличиваются. При наличии контакта матрицы с графитовой вставкой характер распределения нормальных напряжений не изменяется, но численное значение увеличивается. Увеличение площади основания матрицы способствует увеличению разницы между напряженностью в центре и на периферии.

Радиальное распределение плотности тока также обнаруживает неоднородность (рис. 3, б). Плотность тока близка к однородной в центральной части образца. К периферии происходит понижение плотности тока на 24% от температуры в центре образца.

Неоднородность распределения механических напряжений и плотности тока в образце по объему при спекании может способствовать формированию различных областей образца в неравноценных условиях. Спеченный образец впоследствии разрезается на отдельные ветви термоэлементов. Различие в условиях формирования термоэлектрика может приводить к разбросу параметров термоэлементов.

Экспериментальные значения усадки, выводимые на дисплей в процессе спекания, включают в себя значения усадки не только образца, но и пуансонов. Предлагаемая модель позволяет спрогнозировать усадку образца в процессе ИПС.

Проведено компьютерное моделирование процессов ИПС термоэлектриков. При анализе распределения температуры и температурного градиента в образцах и установках с разным расположением матрицы пресс-формы установлено, что конфигурация и расположение играют существенную роль в формировании температурных полей при спекании термоэлектриков из наноструктурированных порошковых материалов.

Показано, что для спекания однородных образцов следует использовать установки с симметричным расположением матрицы пресс-формы.

Наличие контакта между матрицей и нижней графитовой вставкой и расширение основания матрицы способствует формированию градиентного температурного поля. Для формирования неравномерного температурного поля для спекания сегментированных и функционально-градиентных материалов стоит использовать матрицу пресс-формы с расширенным основанием и находящуюся в контакте с нижней графитовой вставкой.

Приложенное давление распределяется неравномерно по объему образца и способствует неравномерному распределению эквивалентных нормальных напряжений. Учитывая, что из

спекаемого образца, как правило, нарезается несколько меньших по размеру образцов, можно сказать, что механические свойства образцов в центре и на периферии могут отличаться.

Модель позволяет прогнозировать распределение тепловых и электрических полей и механических напряжений в термоэлектрике и деталях установки в процессе спекания на этапе задания режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анатычук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Термоэлементы. Элементная база термоэлектричества.- Киев: Институт термоэлектричества, 2003. -376 с.

2. Guillon O., Gonzalez-Julian J., Dargatz B., Kessel T., Schierning G., Räthel J., Herrmann M.Field-Assisted Sintering Technology/Spark Plasma Sintering: Mechanisms, Materials, and Technology Developments// Advanced Engineering Materials. 2014. Vol. 16. Iss 7.- P. 830–849.

3. Poudel B., Hao Q., Ma Y., Lan Y., Minnich A., Yu B., Yan X., Wang D., Muto A., Vashaee D., Chen X., Liu J., Dresselhaus M. S., Chen G., Ren Z. High-thermoelectric performance of nanostructured bismuth antimony telluride bulk alloys// Science. 2008. Vol. 320. № 5876-. P. 634–638.

4. Bulat L.P., Drabkin I.A., Karatayev V.V., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Lavrentev M.G., Sorokin A.I., Pshenai-Severin D.A., Blank V.D., Pivovarov G.I., Bublik V.T., Tabachkova N.Yu. Structure and Transport Properties of Bulk Nanothermoelectrics Based on $Bi_xSb_{2-x}Te_3$ Fabricated by SPS Method // J. Electron. Mater. 2013. Vol. 42. № 7.- P.2110–2113.

5. Drabkin I.A., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Sorokin A.I., Pivovarov G.I., Bulat L.P. Anisotropy of thermoelectric properties of p-type nanostructured material based on $(Bi, Sb)_2Te_3$// Journal of Thermoelectricity. 2013. № 3. - P. 35–46.

6. Булат Л. П., Бочков Л. В, Нефедова И. А., Ахыска Р. Наноструктурирование как способ повышения эффективности термоэлектриков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014.- Т. 4.- № 92.- С. 48–56.

7. Лаврентьев М.Г., Освенский В. Б., Пархоменко Ю.Н., Пивоваров Г.И., Сорокин А.И., Булат Л.П., Бублик В.Т., Табачкова Н.Ю. Механические свойства твердых растворов $(Bi, Sb)_2Te_3$, полученных направленной кристаллизацией и искровым плазменным спеканием// ЖТФ.- 2016. -Т.42.- №2.- С.96–103.

8. Булат Л.П., Освенский В.Б., Пархоменко Ю.Н., Пшенай-Северин Д.А. Исследование возможностей увеличения термоэлектрической эффективности в наноструктурированных материалах на основе Bi_2Te_3-Sb_2Te_3// ФТТ. - 2012.- Т. 54.- № 11.- С. 2036–2042.

9. Булат Л.П., Освенский В.Б., Пшенай-Северин Д.А. Влияние распределения зерен по размерам на решеточную теплопроводность наноструктурированных материалов на основе Bi_2Te_3-Sb_2Te_3// ФТТ.- 2013.- Т. 55.- № 12.- С. 2323–2330.

10. Bulat L.P., Drabkin I.A., Karatayev V.V., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Pshenay-Severin D.A., Sorokin A.I. The Influence of Anisotropy and Nanoparticle Size Distribution on the Lattice Thermal Conductivity and the Thermoelectric Figure of Merit of Nanostructured $(Bi,Sb)_2Te_3$// J. Electron. Mater. 2014. Vol. 43.-Iss. 6. - P. 2121–2126.

11. Bulat L.P., Bublik V.T., Drabkin I.A., Karataev V.V., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Pivovarov G.I., Pshenai-Severin D.A., Tabachkova N.Yu. Bulk Nanostructured Polycrystalline p-Bi-Sb-Te Thermoelectrics Obtained by Mechanical Activation Method with Hot Pressing// J. Electron. Mater. 2010, Vol. 39.- № 9.-P. 1650–1653.

12. Драбкин И.А., Каратаев В.В., Освенский В.Б., Пархоменко Ю.Н., Сорокин А.И., Булат Л.П., Пивоваров Г.И., Бублик В.Т., Табачкова Н.Ю. Термоэлектрические свойства материала на основе $(Bi,Sb)_2Te_3$, полученного методом искрового плазменного спекания// Материалы электронной техники. -2012.- №3.-С. 66–69.

13. Булат Л.П., Драбкин И.А., Новотельнова А.В., Освенский В.Б., Пшенай-Северин Д.А., Сорокин А.И., Тукмакова А.С. Управление тепловыми полями при искровом плазменном спекании термоэлектриков // Термоэлектрики и их применение. – СПб: ФТИ им. А.Ф. Иоффе. - 2015.-С. 40–45.

14. Anselmi-Tamburinia U., Gennarib S., Garaya J.E., Munir Z.A. Fundamental investigations on the spark plasma sintering/synthesis process II. Modeling of current and temperature distributions// Materials Science and Engineering.- 2005.- A 394.- P. 139–148.

15. Bulat L.P., Nefedova I.A., Pshenay-Severin D.A. Targeted Use of SPS Method for Improvement of Thermoelectrics// Advances in Science and Technology.- 2014. - Vol. 93.- P. 168–173.

16. Булат Л.П., Драбкин И.А., Новотельнова А.В., Освенский В.Б., Пархоменко Ю.Н., Сорокин А.И., Пшенай-Северин Д.А., Нефедова И.А. О создании функционально-градиентных термоэлектриков методом искрового плазменного спекания // Письма в ЖТФ.- 2014.- Т. 40. - № 21.- С. 79–87.

17. Булат Л.П., Пшенай-Северин Д.А.,Нефедова И.А., Новотельнова А.В., Гуревич Ю.Г. Тепловые и электрические поля при искровом плазменном спекании термоэлектрических материалов // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. 2014.- № 5(93).- С. 38–45.

18. Булат Л.П., Новотельнова А.В., Пшенай-Северин Д.А., Освенский В.Б., Сорокин А.И., Асач А.В., Тукмакова А.С. Распределение температуры и плотности тока при искровом плазменном спекании неоднородных образцов// ЖТФ.- 2016.-Т.86.- №1.- С.70–77.

УДК 664.723.047

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ЗЕРНА В ЦИКЛИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Бошкова И.Л., д.т.н., Волгушева Н.В., к.т.н., Дементьева Т.Ю., к.т.н.,
г. Одесса, Украина
E-mail: ira@boshkova@mail.ru, n-@mail.ru

Необходимость совершенствования технологии сушки зерна обусловлена значительным объемом материала, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества конечного продукта. В этом направлении перспективными являются технологии, основанные на применении диэлектрического нагрева в микроволновом поле, что дает некоторые преимущества в операциях сушки, включающие высокую энергетическую эффективность и более однородное распределение температуры и влагосодержания [1-3]**.** Микроволновые технологии относятся к разряду энергосберегающих в силу их естественной специфики [4], однако для создания действующего оборудования необходимо проведение комплексных исследований, целью которых является определение рациональных условий процесса. Особый интерес представляют комбинированные способы микроволнового нагрева, применение которых позволяет поддерживать требуемый температурный режим и высокую скорость сушки [5]. Одним из таких комбинированных методов является циклическая сушка, при которой периоды подвода микроволновой энергии чередуются с периодами продувки слоя сушильным агентом (к примеру, воздухом).

Целью исследований являлось определение влияния продолжительности продувки слоя зерна воздухом, без предварительного подогрева и нагретым, на основные характеристики процесса сушки (средняя температура материала, скорость сушки, удельные энергозатраты), и выбор оптимального режима при циклическом подводе микроволновой энергии. Схема микроволновой экспериментальной установки для исследования процессов тепломассопереноса при сушке зерновых материалов представлена на рис. 1. Внутри рабочей камеры установлен воздуховод из радиопрозрачного материала, в который помещалась ячейка, изготовленная в форме параллелепипеда из сетчатого материала. В экспериментальную ячейку засыпалось заданное количество зерна. Методика проведения экспериментов состояла в следующем. В микроволновую установку загружалось 100 г зерна (овес) с начальным влагосодержанием 0,2 кг/кг. Сушка зерна проходила в циклическом режиме.

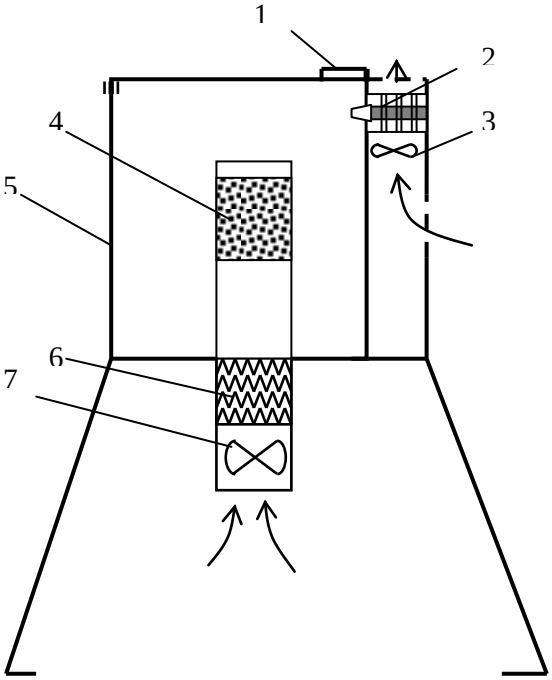


Рисунок 1 - Схема установки для исследования кинетики сушки зерновых материалов при микроволновом и конвективном нагреве

1 – дверца, 2 – магнетрон, 3 – вентилятор системы охлаждения магнетрона, 4 – экспериментальная ячейка с материалом для исследований, 5 – рабочая камера, 6 – электронагреватель, 7 – вентилятор.

Длительность периода МВ нагрева во всех опытах составляла τ=10 с, выходная мощность магнетрона соответствовала 600 Вт. Длительность периода продувки варьировалась: 10, 20 и 30 с. После каждого из периодов образец извлекался, проводились замеры температуры и массы зерна, после чего в ячейку засыпалась новая порция зерна с таким же начальным влагосодержанием, и процесс длился на соответствующий период больше. Температура воздуха составляла 20°С, скорость фильтрации в слое зерна – 1 м⁄с, расход – 0,0118 кг/с. Начальная температура зерна – 20°С. На рис. 2 приведены температурные кривые для различных по длительности периодов продувки. Исследование сушки зерна при продувке предварительно нагретым воздухом проводилось по приведенной выше методике, при этом воздух нагревался электронагревателем 6 (рис.1). Температура зерна в период продувки нагретым воздухом снижается менее существенно, чем при продувке холодным воздухом, что определяет большую равномерность сушки. Скорость воздуха – 1 м/с. Каждый цикл состоит из двух периодов: МВ нагрев и продувка слоя зерна воздухом.

На рисунках n – это номер периода. Нечетные номера соответствуют периодам МВ нагрева, четные – периодам продувки.

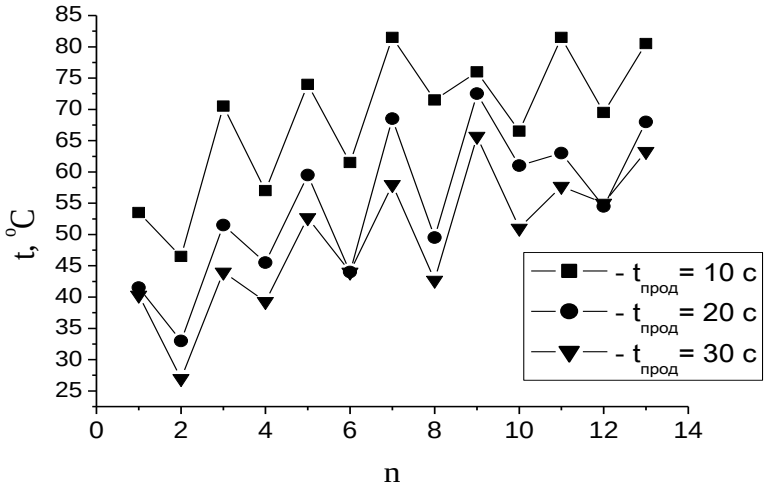


Рисунок 2 – Изменение температуры плотного слоя зерна (овес) при циклическом подводе микроволновой энергии. Продувка слоя воздухом без предварительного подогрева.

Продувка слоя зерна нагретым воздухом, даже при температуре 50°С, приводила к недопустимому росту температуры зерна. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать вывод, что оптимальной является сушка с продувкой слоя без предварительного подогрева воздуха. Для режимов с $t_в$=20 °С при продувке слоя ненагретым воздухом скорость сушки существенно снижается с увеличением длительности продувки, что связано с понижением температуры зерна.

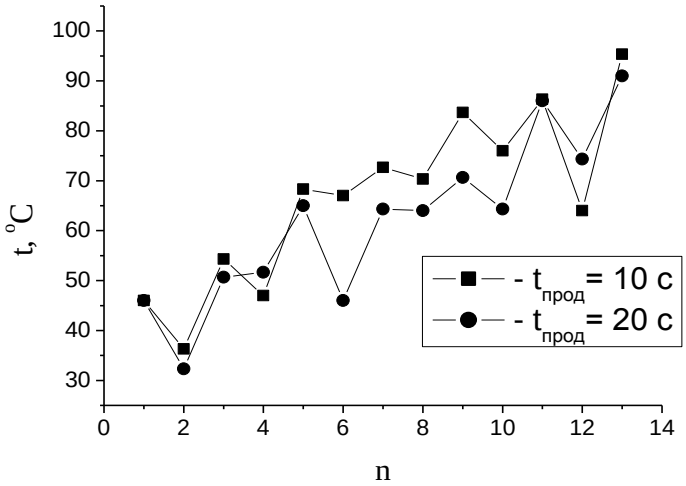


Рисунок 3 – Изменение температуры плотного слоя зерна (овес) при циклическом подводе микроволновой энергии. Продувка слоя воздухом при температуре на входе $t_в$=50°С

Физическое явление, определяющее интенсивность выхода влаги из зерновки – это возникновение избыточного давления с ростом температуры при микроволновом нагреве. В соответствии с данными [6], при сушке в электромагнитном поле при температуре от 45°С до 95°С (а по результатам наших исследований микроволновой плотного сушки слоя зерна – для 70°С [5]), возникает градиент давления, который интенсифицирует перенос вещества. Отмечается, что при выключении источника электромагнитного поля избыточное давление релаксирует не мгновенно вследствие сопротивления молярному переносу внутри тела. Если до температуры 70 °С избыточное давление равно нулю, и перенос молекул воды описывается законами неизотермической диффузии влаги [6], то при дальнейшем повышении температуры образующийся градиент давления приводит к интенсификации выхода влаги к поверхности зерновки. Анализ полученных результатов позволяет предположить, что физическая картина циклической сушки состоит в следующем. После снятия нагрузки и продувки слоя уносится пар из межзернового пространства, а подступившая к поверхности влага частично – испаряется и частично – вновь сорбируется зерновкой. Таким образом, длительность продувки должна быть такой, чтобы вся испарившаяся влага удалялась из межзернового пространства, а релаксационные процессы в зерновках не завершились, что в следующем цикле дает возможность не затрачивать энергию на повторный перенос вещества к их поверхности. Это объясняет экспериментальный результат, полученный в данных исследованиях, согласно которому оптимальному режиму циклической сушки соответствует минимальная длительность продувки ненагретым воздухом.

На рис. 4 и 5 приведены результаты расчетов скорости сушки для различных периодов. Анализ данных приводит к выводу, что при продувке как нагретым, так и ненагретым воздухом, вначале скорость сушки выше в периоды продувки, а в конце – значительно усиливается скорость сушки в периоды МВ нагрева, причем для ненагретого воздуха скорость МВ сушки становится больше, чем в периоды продувки. При использовании нагретого воздуха температура материала в конце эксперимента была выше на 10–20ºС по сравнению с ненагретым. Результаты экспериментов показывают, что на значение скорости сушки в периоды МВ нагрева и в периоды продувки оказывает влияние температура материала и его влагосодержание. С увеличением $\tau_{прод}$ от 10 с до 30 с (рис. 4) скорость сушки снижается для всех периодов, что говорит об общей нерациональности увеличения длительности продувки. При времени 80 с (рис. 4а) и 150 с (рис. 4б), что соответствует четвертому циклу для $\tau_{прод}$=10 с и пятому для $\tau_{прод}$=20 с, и далее, отмечается существенное превышение скорости МВ сушки в сравнении со скоростью в периоды продувки. При этом, как видно из рис. 4, для данных, полученных при $\tau_{прод}$=20 с, этот цикл характеризуется более низкими значениями температур и влагосодержания по сравнению с данными, полученными при $\tau_{прод}$=10 с.

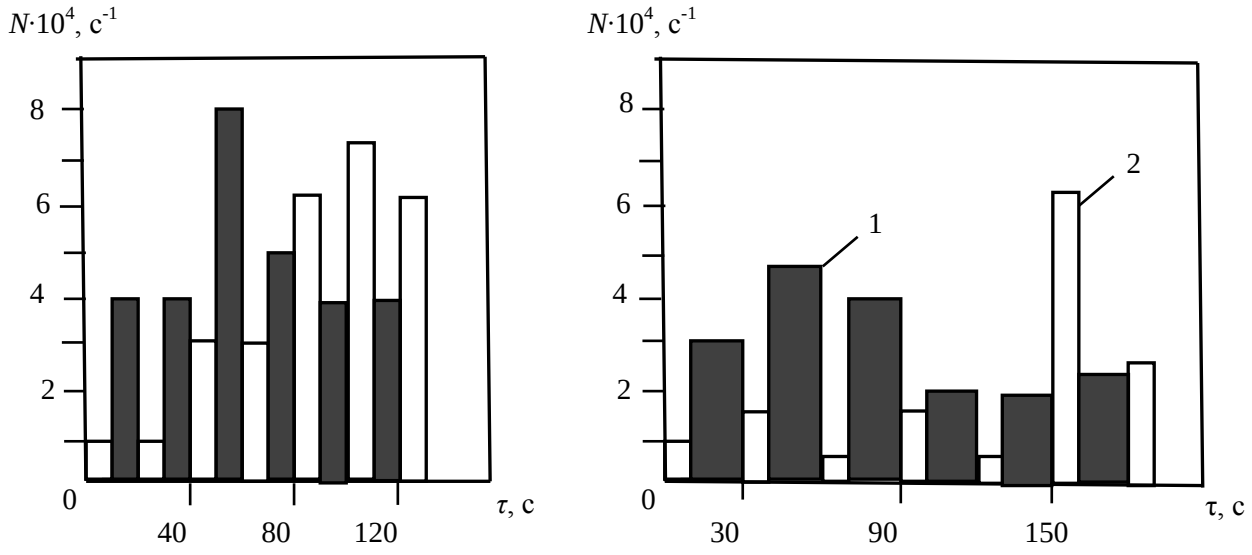
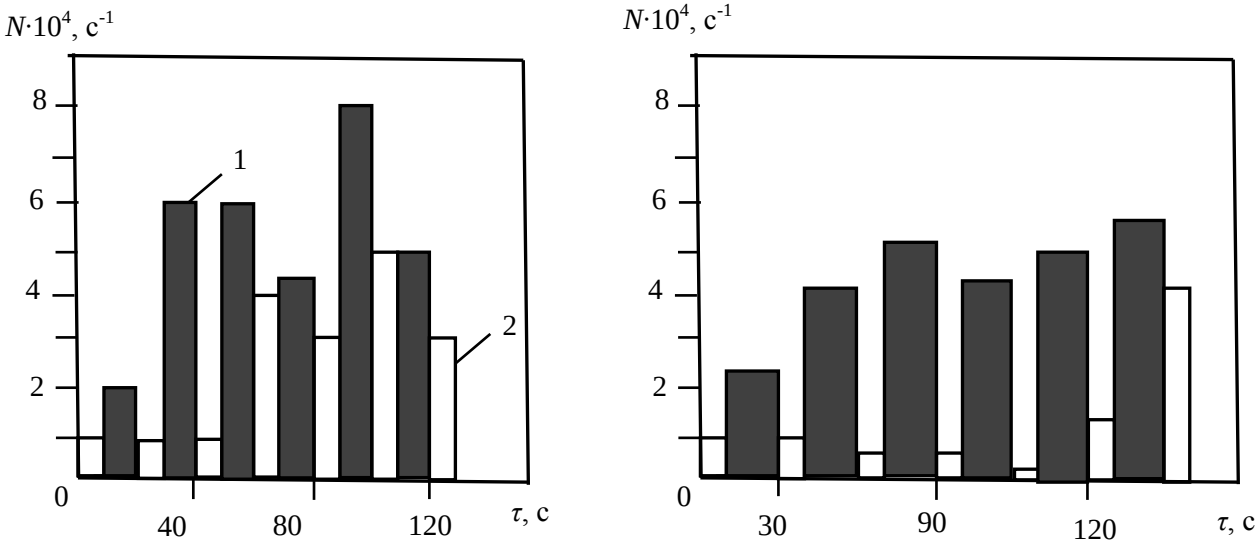


Рисунок 4 - Зависимость скорости циклической сушки плотного слоя зерна от времени при продувке воздухом без предварительного подогрева.

1 – период продувки, 2 – период МВ нагрева. Длительность МВ нагрева – 10 с.

а – $\tau_{прод}$=10 с, б – $\tau_{прод}$=20 с.

В периоды продувки нагретым воздухом скорость сушки всегда была выше (рис. 5), однако после третьего цикла для $\tau_{прод}$=10 с и пятого – для $\tau_{прод}$=20 с начинает увеличиваться вклад МВ сушки.



а *б*

Рисунок 5 – Зависимость скорости циклической сушки плотного слоя зерна от времени при продувке воздухом с температурой на входе 50 °С

1 – период продувки, 2 – период МВ нагрева. Длительность МВ нагрева – 10 с.

а – $\tau_{прод}$=10 с, б – $\tau_{прод}$=20 с.

Получено, что варьированием длительностью периодов МВ нагрева и продувки достигается возможность установления интенсивного и энергоэффективного режима сушки. Для получения более полной информации о рациональных режимах сушки, использующей микроволновой нагрев, целесообразно установить изменение основных характеристик процесса по времени для одновременной микроволново-конвекетивной сушки и провести сопоставительный анализ результатов.

Для оценки общей энергетической эффективности циклической сушки выполнены расчеты средних за весь процесс значений удельных затрат энергии $Q_{уд}$, скорости сушки $N_{ср}$,, и средних в периоды МВ нагрева $N_{МВ}$ и продувки $N_{прод}$ (табл. 1). Удельные затраты энергии существенно ниже в режимах, применяющих воздух без подогрева.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики циклической сушки при различных входных температурах воздуха и длительности продувки

$t_в$ °С	20			50	
$\tau_{прод}$, °С	10	20	30	10	20
Удельные затраты энергии $Q_{уд}$, МДж/кг	9,07	9,68	8,96	11,72	14,33
Средняя скорость сушки $N_{ср}$, с$^{-1}$	0,00043	0,000274	0,000224	0,00038	0,000316
Средняя скорость МВ сушки $N_{МВ}$, с$^{-1}$	0,000343	0,000201	0,000157	0,00025	0,000124
Средняя скорость за периоды продувки $N_{прод}$, с$^{-1}$	0,000483	0,000278	0,000233	0,000533	0,000432

Следует отметить, что значения удельных затрат соответствовали конструкции экспериментальной установки, которая не являлась оптимальной по использованию микроволновой энергии, излучаемой магнетроном. Однако полученные данные позволяют проводить сравнительную оценку и определять режимные параметры, при которых наблюдается снижение затрат энергии. Анализ таблицы показывает, что для всех исследованных режимов средняя за процесс скорость сушки выше, чем значения, получаемые при применении традиционных сушилок [6].

Выводы

Скорость сушки в первой части процесса всегда выше в периоды продувки, во второй части значительно усиливается скорость в период МВ нагрева, причем для воздуха без предварительного подогрева скорость МВ сушки становится выше, чем в периоды продувки. На значение скорости сушки в периоды МВ нагрева и в периоды продувки оказывает влияние температура материала и его влагосодержание.

Оптимальному режиму циклической микроволновой сушки соответствует минимальная из ряда исследованных длительность продувки слоя зерна (10 с) воздухом без его предварительного подогрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Advances in Bioprocessing Engineering / Editors H. Yang, J. Tang. London. Advances in Agricultural Science and Technology. Vol. 1. Editors H. Yang, J. Tang. London: World Scientific, 2002. – 172 p.

2. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Кинетика микроволновой сушки сыпучего органического материала // ИФЖ, 2006 .– №3, Т.79. – С. 123-127.

3. Metaxas A.S. Meredith R.J. Industrial Microwave Heating. London: Peter Perigrinus, 1983. – 156 p.

4. Haghi, A.K. H. Ghanadzadeh. Experimental study on combined infrared and microwave drying of porous media with particular application in wood industry // Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2006. – Vol. 11, № 4. – P. 985-991.

5. Волгушева Н.В. Кінетика сушіння щільного шару дисперсного матеріалу (на прикладі гречки) при різних способах підведення теплоти / Автореф. дис. … канд. техн. наук. /Одеса: ОДАХ, 2005. – 18 с.

6. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472с.

7. Дементьєва Т. Ю. Інтенсифікація процесів тепловологопереносу при сушінні зернового матеріалу з застосуванням мікрохвильового електромагнітного поля / Автореф. дис.… канд. техн. наук /Одеса: ОДАХ, 2012. – 22 с.

УДК 536.423:536.71

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Волчок В.А., к.т.н., Лапардин Н.И., к.т.н.,
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина
E-mail: recvic@te.net.ua, lapardina2004@mail.ru

Одним из путей дальнейшего развития холодильной техники является применение смесей хладагентов с сокращением использования озоноразрушающих веществ. Смесевые хладагенты имеют по сравнению с чистыми веществами ряд преимуществ: увеличение холодопроизводительности установок без особых конструктивных изменений, получение низких температур с высокими объемными и энергетическими характеристиками.

Задача применения многочисленных смесевых хладагентов в холодильной технике по-прежнему остается актуальной, что определяет необходимость не только экспериментального и теоретического изучения их свойств, но и учет их экологического воздействия на окружающую среду в результате неизбежных утечек рабочего тела.

При разработке и проектировании холодильного оборудования, работающего на многокомпонентных смесях, часто возникают трудности, связанные с отсутствием достоверной информации о термодинамических свойства (ТДС) многокомпонентных смесей хладагентов. Имеющаяся в литературе информация о ТДС ограничена и не позволяет интерпретировать полученные закономерности на другие системы. Возможности теоретических методов расчета ограничены и позволяют получить лишь качественную информацию о свойства многокомпонентных рабочих тел.

Существенное прикладное значение имеет рассмотренный в статье вопрос, связанный с возможностью определения ТДС многокомпонентных смесей на основе экспериментальных данных о бинарных смесях хладагентов.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальном изучении плотности жидкости 4-х бинарных смесей и одной тройной смеси R401a в однофазной области, давления кипения 6-ти бинарных смесей и одной тройной смеси R401a и моделировании ТДС смесей уравнениями состояния.

В экспериментальной части работы был использован метод пьезометра постоянного объема, отличающийся высокой надежностью, точностью и достаточной простотой в реализации [1]. Опыты проводились по квазиизохорам, начиная с наиболее низкой температуры.

Диапазоны исследования давления кипения и плотности жидкой фазы смесей хладагентов приведены в табл. 1.

Массив исходных данных был сформирован из 1421 имеющихся в литературе значений давления кипения и плотности жидкости в 14 источниках, а также 124 экспериментальных значений, полученных в рамках настоящей работы.

Таблица 1 – Диапазоны исследования давления кипения и плотности жидкой фазы смесей хладагентов

Смесь хладагентов	Диапазон исследований давления кипения		Диапазон исследований плотности жидкости	
	P, МПа	T, K	P, МПа	T, K
R125/R22	0,38 – 2,96	258,7 – 333,8	1,3 – 13,1	260,0 – 331,3
R22/R124	0,23 – 1,60	262,6 – 332,4	1,8 – 12,9	264,7 – 337,3
R152a/R124	0,11 – 1,26	257,1 – 335,0	1,3 – 12,7	262,6 – 331,9
R124/R142b	0,08 – 1,37	257,7 – 350,7	–	–
R22/R142b	0,19 – 2,36	258,5 – 353,6	2,1 – 12,2	261,9 – 338,6
R22/R152a	0,18 – 1,90	255,8 – 335,0	–	–
R401A	0,59 – 1,73	289,2 – 330,5	2,5 – 9,8	265,5 – 342,8

Совместная обработка полученных данных по плотности жидкой фазы и давлению кипения сводилась к поиску оптимальных значений «перекрёстных» констант модифицированных обобщённых уравнений состояния (УС) Пенга-Робинсона (ПР) и Ли-Кеслера (ЛК) [2], а также фундаментального уравнения в терминах энергии Гельмгольца в приведенной форме (СЭГ) [3].

В первом случае использовалось достаточно простое кубическое УС ПР, которое часто применяется при расчётах циклов холодильных машин.

Эмпирические поправки к правилам комбинирования параметров смеси, модифицированного УС ЛК, находились следующим образом. По данным о давлении кипения смеси подобран параметр K_t, как функция приведенной температуры; далее с использованием этого значения определялся параметр K_p при условии наилучшего описания плотности смеси в жидкой фазе.

Для фундаментального УС, выраженного через энергию Гельмгольца в приведенной форме, оптимальные значения подгоночных параметров K_t и K_v определялись при совместной обработке экспериментальных значений по плотности жидкости и давления кипения смеси при условии наименьшего отклонения.

Методика обработки результатов прямых измерений предусматривала предварительную оценку составов паровой и жидкой фаз, а также плотности паровой фазы при температурах балластного объема и пьезометра, и плотности жидкой фазы.

Полученные экспериментальные значения давления кипения шести бинарных зеотропных смесей хладагентов R125/R22, R22/R152a, R22/R124, R152a/R124, R22/R142b и R124/R142b были использованы для сравнительного анализа различных форм УС.

Проведен анализ возможности использования трех форм УС при описании термодинамической поверхности бинарных зеотропных смесей хладагентов и сопоставлены результаты расчета ТДС по оригинальной версии УС ПР, модифицированному УС ЛК и УС СЭГ с оптимальными перекрестными параметрами.

Для проведения сравнительного анализа различных форм УС, с целью выявления их возможностей при описании термодинамической поверхности бинарных зеотропных смесей хладагентов, были выбраны три широко применяемые УС. Следует отметить, что для кубического УС ПР были приняты для расчетов оригинальные правила комбинирования индивидуальных параметров. Несмотря на этот факт, УС ПР по некоторым экспериментальным точкам имеет меньшее среднеквадратическое отклонение, чем УС ЛК и СЭГ, для которых находились соответствующие коэффициенты K_t, K_p и K_v.

Для нахождения перекрестных коэффициентов УС ЛК и СЭГ учитывался весь массив экспериментальных данных, полученных как в настоящей работе, так и данные других авторов с учетом погрешностей измеряемых величин.

В силу недостатков, присущих кубическим УС, как и предполагалось, УС ПР менее адекватно воспроизводит экспериментальные данные. К ним относится принципиальная невозможность одновременного точного описания параметров критической точки индивидуальных веществ и смесей на их основе. Это может привести к несогласованности при описании термодинамической поверхности в вопросах, где существенным приоритетом является установление вида агрегатного состояния рабочего тела холодильной машины. Несмотря на это, УС ПР показало достаточно приемлемый результат по сравнению с многопараметрическими фундаментальными уравнениями состояния.

Проведенное сравнение показало, что опытные значения давления кипения и плотности жидкости бинарных зеотропных смесей хладагентов, полученные в настоящей работе, вполне адекватно согласуются с данными, опубликованными рядом авторов. Это позволило в дальнейшем с уверенностью опираться на эти результаты.

Комплекс расчетов использует модель, которая использует правила смешения, применяемые к компонентам смеси УС СЭГ. В частности, для смеси R125/R22 были предложены значения подгоночных параметров K_t = 0,9534 и K_v = 1,0000, для смеси R22/R152a - K_t = 1,0187 и K_v = 1,0000, для смеси R22/R124 - K_t = 0,9513 и K_v = 1,0000, для смеси R22/R142b - K_t = 1,0006 и K_v = 1,0000, для смеси R124/R142b - K_t = 0,9964 и K_v = 1,0000, для смеси R152a/R124 - K_t = 0,9878 и K_v = 1,0000.

При этом среднеквадратичные погрешности по плотности жидкой фазы составили: для смеси R22/R124 – 1,48 %, для смеси R152a/R124 – 1,41 %, для смеси R125/R22 – 0,22 %, для смеси R22/R142b – 0,30 %, для хладона R401A – 1,13 %.

В ходе проведенного расчетного исследования давления кипения бинарных смесей хладагентов и хладагентов R401A и R409A [4], а также плотности жидкой фазы бинарных смесей хладагентов и хладагента R401A, существенно повышена точность описания ТДС бинарных смесей хладагентов по сравнению с имеющимися литературными данными. При этом данные о давлении кипения оказывают наибольшее влияние на коэффициент K_t, а данные о плотности жидкой фазы на коэффициент K_v.

Принятая для расчетов модель описания ТДС веществ хладагентов, основанная на правиле комбинирования констант УС, даёт возможность расчета ТДС смесей хладагентов на основе данных о бинарных смесях, входящих в их состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапардин Н.И. Свойства сервисных хладагентов R409A и R409B / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер, В.А. Волчок // Обладнання та технології харчових виробництв: Темат. зб. наук. пр.- Донецьк: ДонНУЕТ. - 2012. – Вип. 29. – С. 119-126.

2. Захаров Н.Д. Моделирование термодинамических свойств смесей обобщенными уравнениями состояния / Н.Д. Захаров, Н.И. Лапардин // Холодильна техніка і технологія. – 2001. – №3 (72). – С.19-24.

3. Lemmon E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, version 8.0. / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. - 2007.

4. Bouchot C. Direct pressure-volume-temperature and vapor-liquid equilibrium measurements with a single equipment using a vibrating tub densimeter up to 393 K and 40 MPa: description of the original apparatus and new data / C. Bouchot, D. Richon // Ind.Eng.Chem. Res. – 1998. – Vol. 37. – P. 3295-3304.

УДК 663.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЙОГУРТОВЫХ ЗАКВАСОК

Баженова И.А., к.т.н., Рыбкина Е.Д.,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Сегодня на российском рынке мы наблюдаем большое разнообразие заквасочных культур для производства кисломолочных продуктов, в состав которых входят штаммы с различными биохимическими и технологическими свойствами. Вид микроорганизмов оказывает существенное влияние на вкус, запах и консистенцию готового продукта, а также формирование таких качественных показателей, как активность кислотообразования, способность к синерезису, прочность, вязкость образовавшегося сгустка, накопление ароматических веществ и др.

В данной работе были исследованы закваски для производства йогуртов. Классическая закваска для йогуртов – смесь культур Streptococcus thermophilus и Lactobacillus delbrueckii подвида bulgaris, обычно с соотношением кокков и палочек 1:1. За счёт взаимостимуляции роста этих микроорганизмов происходит быстрое сквашивание. В зависимости от типа и активности закваски образуется такие метаболиты, как углекислый газ, уксусная кислота, диацетил, уксусный альдегид, экзополисахариды с большой массой и другие соединения, которые определяют органолептические свойства готового продукта [1].

Нами были исследованы йогуртовые закваски различных производителей. Использовали как индивидуальные закваски, так и их смеси. Состав заквасок и их органолептическая характеристика приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Состав и органолептическая характеристика заквасок

Название закваски, производитель	Состав закваски	Органолептическая характеристика		
		Консистенция	Вкус	Запах
Закваски «Йогурт» + «Бифидум Premium ЕКОКОМ» (смешаны после заквашивания) «ЕКОКОМ» (Болгария)	«Йогурт»: молочнокислые бактерии (Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus) «Бифидум»: бифидобактерии Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium longum и Bifidobacterium infantis.	плотная, однородная	сливочный, слабокислый	кислый
Закваски «Йогурт» + «Бифидум Premium ЕКОКОМ» (сквашенные в одной ёмкости). «ЕКОКОМ» (Болгария)	«Йогурт»: молочнокислые бактерии (Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus) «Бифидум»: Бифидобактерии Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium longum и Bifidobacterium infantis.	плотная, однородная	сливочный, слабокислый	невыражен-ный
Закваски «Виталакт» + «Йогурт» (смешаны после заквашивания) «ЕКОКОМ» (Болгария)	«Виталакт»: Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactococcus lactis subsp. cremoris, Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris, Lactobacillus acidophilus, Кефирный грибок «Йогурт»: молочнокислые бактерии (Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus)	творожистая	слабокислый	слабокислый
Закваски «Биойогурт» + «Бифидобактерии» (сквашенны в одной ёмкости). «Genesis» (Болгария)	«Биойогурт»: Bifidobacterium complex, Streptococcus salvarius sp. Thermophilus, Lactobacillus delbrueckii sp. bulgaricus. «Бифидобактерии»: Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium infantis, Bifidobacterium longum, Bifidobacterium breve, Bifidobacterium adolescentis.	неплотная, тянущаяся	кисло-сладкий и привкусом топлёного молока	сливочный
Закваска «Бифидобактерии» «Genesis» (Болгария)	Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium infantis, Bifidobacterium longum, Bifidobacterium breve, Bifidobacterium adolescentis.	однородная, жидкая	сливочный	кислый
Закваска «Виталакт».	Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactococcus lactis subsp.	однородная,пл отная	сливочный, кисло-	слабокислый

«ЕКОКОМ» (Болгария)	cremoris, Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris, Lactobacillus acidophilus, Кефирный грибок		сладкий	
Закваска «Лактобактерии» «Genesis» (Болгария)	Streptococcus Thermophilus, Lactobacillus bulgaricus, Lactobacillus acidophilius.	неплотная, тянущаяся	слабокислый, сливочный	посторон-ний запах масляной кислоты
Закваска «Биойогурт» + «Лактобактерии» (сквашенные в одной ёмкости» «Genesis» (Болгария)	«Биойогурт»: Bifidobacterium complex, Streptococcus salvarius sp. Thermophilus, Lactobacillus delbrueckii sp. bulgaricus. «Лактобактерии»: Streptococcus Thermophilus, Lactobacillus bulgaricus, Lactobacillus acidophilius.	довольно плотная, однородная	кислый	слабый
Закваска «Бифидум», серия LAT BIO. ЕКОКОМ (Болгария)	Молочнокислые бактерии, бифидобактерии Streptococcus thermophilus, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium infantis, Bifidobacterium longum	плотная, однородная	кислый	сливочный
Закваска «Бифидум PREMIUM ЕКОКОМ». ЕКОКОМ (Болгария)	Бифидобактерии Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium longum и Bifidobacterium infantis	зернистая	слабокислый	сливочный
Бифидоацидо-фильный йогурт. «Genesis» (Болгария)	Bifidobacterium complex, Streptococcus salvarius sp. Thermophilus, Lactobacillus delbrueckii sp. bulgaricus, Lactobacillus acidophilus	зернистая	сильно кислый	кислый
«Бифацил». «Вектор Биальгам» (Россия)	L.acidophilus, B.bifidum и B.longum, ST. Thermophilus	зернистая	кислый с привкусом топленого молока	слабокислый
«Имунале» Lacte (Германия)	Streptococcus salivarius sp thermophilus, Lactobacillus delbrueckii sp bulgaricus, Lactobacillus acidophilus, Propionbacterium acidionipioniti, Lactobacillus casei subsp. rhamnosus, Lactobacillus plantarum, Lactococcus lactis subsp. lactis, Saccharomyces subsp. cerevisiae, Leuconononostoc, Bifidobacterium animalls ssp. lactis.	очень жидкая	сливочный	слабокислый
«Биомикс» Lacte (Германия)	Streptococcus salivarius sp. thermophilus, Lactobacillus acidophilus, Propionibacterium acidionipioniti, Lactobacillus casei subsp. rhamnosus, Lactobacillus plantarum, Bifidobacterium animalls ssp. lactis, Lactobasillus lactis, лактоза.	очень жидкая	сливочный	слабокислый

Для дальнейшего исследования были выбраны закваски фирмы «ЕКОКОМ», «Вектор-Биальгам» и «Genesis». Для них определяли скорость кислотообразования, синеретические свойства и образование углекислого газа.

Для получения продукта использовали пастеризованное молоко «Веселый молочник» с жирностью 3,5%. Закваски вносили в количестве 5% от объема молока. Титруемая кислотность заквасок не превышала 90ºТ. Сквашивание осуществляли в термостате при температуре (40±1)°С в течение 5 часов. Каждый час определяли нарастание кислотообразования в сквашиваемых образцах по изменению титруемой кислотности. Титруемая кислотность показывает концентрацию составных частей молока, имеющих кислотный характер (кислые фосфорнокислые соли кальция, натрия, калия, лимоннокислые соли).

Результаты исследования представлены на рис. 1.

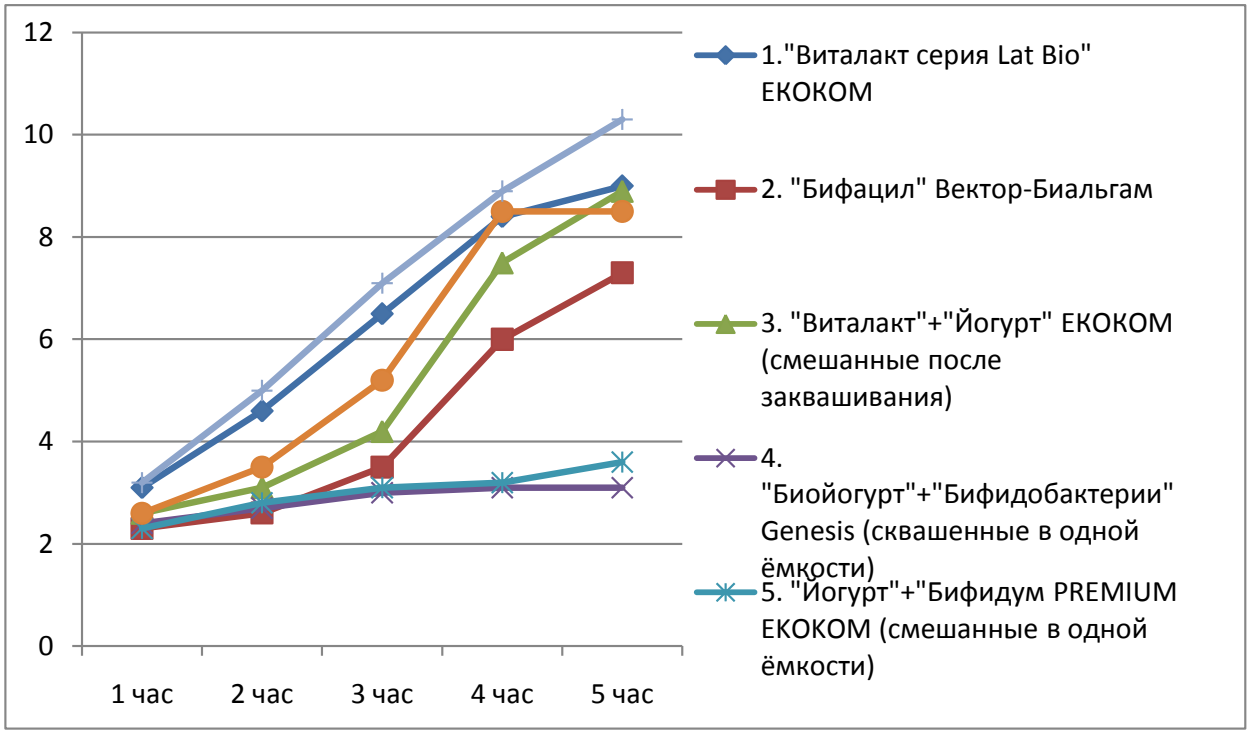


Рисунок 1 – Кислотообразование в образцах йогуртовых заквасок

Из графика видно, что быстрее всего кислотные компоненты образуются в образцах 1 и 7, при этом титруемая кислотность достигает 90ºТ у образца 1 и 103ºТ у образца 7. Образцы 4 и 5 характеризуются самым низким ростом кислотообразования, и титруемая кислотность достигает 31-36 ºТ.

Одним из показателей реологических свойств кисломолочных продуктов является степень синерезиса. Она определяет прочность сгустка, а, следовательно, их потребительские свойства. Синерезис молочных продуктов – это самопроизвольное отделение сыворотки из сгустка. Для одних молочных продуктов он является необходимым (творог, сыр), а для кисломолочных напитков может вызвать пороки консистенции. Также выделение сыворотки является следствием неудовлетворительного качества сырья, отклонений от нормального режима гомогенизации и пастеризации молока, при переквашивании продукта.

В данной работе синеретические свойства определяли при центрифугировании образцов заквасок при 1600 об/мин в течение 30 минут, каждые 5 минут отмечали уровень выделения сыворотки. Результаты представлены на рис. 2.

Из графика видно, что образцы заквасок по-разному удерживают сыворотку. Меньше всего сыворотки выделяется у образца 4, а наибольшее отделение сыворотки наблюдали у образцов 1 и 7.

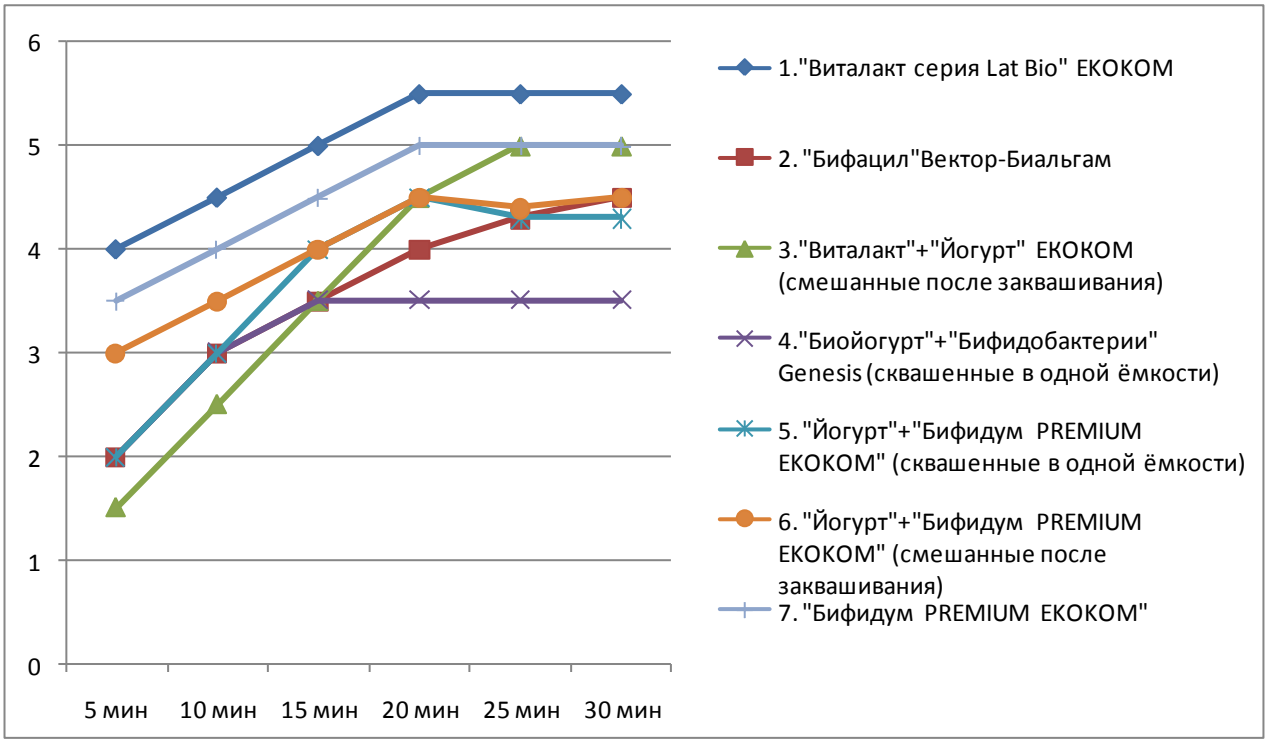


Рисунок 2 – Синерезис йогуртовых заквасок

Помимо молочнокислого брожения при производстве кисломолочных продуктов могут протекать процессы, приводящие к накоплению углекислого газа. Для выбранных образцов исследовали образование CO_2 при нагревании заквасок до 90ºС. Отмечали уровень подъема сгустка над сывороткой, а также консистенцию и структуру сгустка. При этом в образцах 1, 6 и 7 образование углекислого газа не отмечено. Образовавшиеся сгустки имели творожистую консистенцию. Наибольшее газообразование идет в образце 5, минимальное – в образце 4. В образцах 2, 3, 4, 5 сгустки имели более плотную губчатую структуру.

По результатам проведенных исследований для производства молочных йогуртов выбраны образцы заквасок 1, 3, 5 и 7. Они позволяют получать готовые продукты с хорошими органолептическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вострилов А.В. Основы переработки молока и экспертиза качества молочных продуктов / А.В. Вострилов, И.Н. Семенова, К.К. Полянский. – СПб: ГИОРД, 2010. – 512 с.

УДК 536.24 (075.8)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПЕСТИЦИДОВ МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОГО ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Георгиеш Е.В., г. Одесса, Украина
E-mail: ekaterina.georgiesh@mail.ru

Повышенный интерес к экологически безопасным пестицидам природного происхождения вызывает потребность в усовершенствовании процесса извлечения биологически активных веществ (БАВ). Изучение растений как средство борьбы с болезнями и вредителями известно с давних времен, но впервые подробное описание пестицидного действия опубликовано Токиным Б.П. [1] в 1928 г. Пестицидное действие получаемых экстрактов обусловлено наличием в них химических соединений - алкалоидов, гликозидов, сапонинов, сложных эфиров, эфирных масел и других групп соединений, которые избирательно действуют на вредителя и тем самым отличают биопестициды от химических

средств защиты [2]. Анализ работ показал, что приготовление экстрактов - довольно сложный процесс и требует подробного изучения в таких вопросах как сбор и хранение сырья, выбор растворителя, определение связи растение - патоген и получение технологии приготовления экстракта.

Эффективность получения биопестицидов определяется минимизацией экономических затрат, экологической безопасностью применяемого средства относительно растений и окружающей среды, действенность против патогенов (грибов, бактерий, насекомых). Приготовление экстрактов традиционными методами является длительным и малоэффективным, поэтому рационально выбрать метод, интенсифицирующий процесс экстрагирования биологически активных веществ (БАВ), способствующий повышению скорости и эффективности экстрагирования из растительного сырья. Одним из таких методов является метод микроволнового экстрагирования [3,4]. При использовании микроволновых технологий в процессах извлечения наблюдается сохранение физиологической активности экстрагированных веществ, проявление новых свойств экстрактов и достаточно высокая эффективность действия против вредителей [5], при этом существенно увеличивается скорость извлечения.

В то же время экспериментальные данные свидетельствуют о том, что микроволновое экстрагирование следует применять избирательно в зависимости от ожидаемого результата.

Важным вопросом является также выбор растворителя, который должен соответствовать ряду требований. Проведя ряд экспериментальных исследований с разными видами растворителя, получено, что спиртовые, масляные и пропиленгликолевые растворы приводят к ухудшению состояния поверхности листьев вплоть до их отмирания, поэтому исследования следует ограничить использованием воды в качестве экстрагента.

Для проверки эффективности действия экстрактов был выбран ряд растений, обладающих инсектицидным, фунгицидным действием, а именно молокан дикий, чеснок, чистотел, ромашка, перец красный, аир, тысячелистник, табак, шелуха лука, молочай прутьевидный, хвоя. В качестве патогенов были выбраны: ржавчина роз (*Phragmidium*), приморский мучнистый червец (*Pseudococcidae*), мучнистая роса (*Erysiphales*) и тля (*Aphidoidea*).

В качестве эффективных инсектицидов зарекомендовали себя экстракты чистотела и молокана дикого против тли и приморского мучнистого червеца, фунгицидное действие показал экстракт чеснока относительно мучнистой росы.

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что исследованные виды сырья подлежат следующему разбиению по целесообразности использования метода микроволнового экстрагирования для извлечения БАВ:

1 – применение МВ метода нецелесообразно: экстракты перца красного, аира, ромашки, не проявили качества биопестицидов;

2 – применение МВ метода не показало преимущество над традиционным: экстракты тысячелистника, чистотела, ботвы картофеля, табака;

3 – применение МВ метода рационально: экстракты шелухи лука, чеснока, молокана дикого, молочая прутьевидного, хвои, березовой бересты.

Эффективность применения некоторых экстрактов, например, айланта и ореха, остается под вопросом. В табл. 1 приведены результаты расчета энергетической эффективности получения экстрактов в микроволновом поле в сравнении с традиционным способом получения.

Таблица 1 – Энергетическая эффективность экстрагирования в условиях действия микроволнового поля

Растительный материал	Экстрагирование в МВ поле				Традиционный метод			$\frac{Q_{потр}^{трад}}{Q_{витр}^{МВ}}$
	P, Вт	τ	$Q_{потр}^{МВ}$	τ_{Σ}	$\tau_{Н}$	$Q_{потр}^{трад}$	τ_{Σ}	
Шелуха лука	90	30 с	0,044	5 час	360 с	0,69	4-5 дн	16
Хвоя	360	30 с	0,18	0,5 час	1020 с	0,69	6 час	3,8
Молочай прутьевидный	600	300 с	0,18	480 с	4 час	4,07	4 час	22,6
Молокан дикий	600	180 с	0,18	0,5 час	1 час	-	1 час	-
Полынь	90	180 с	0,27	3 час	360 с	0,69	24 час	2,6

Значения величин, входящих в таб. 1: Р - выходная мощность магнетрона, Вт; $\tau_н$ - время нагрева, с; $Q_{потр}$- удельные тепловые затраты, МДж/кг; τ_Σ - общее время приготовления; $\frac{Q_{потр}^{трад}}{Q_{витр}^{МВ}}$ - энергетическая эффективность экстрагирования БАВ. Интенсивность процесса определялась как отношение времени нагрева традиционного метода к микроволновому.

Сравнение проводилось по двум параметрам – общей продолжительности получения экстракта τ_Σ и удельным затратам энергии на килограмм материала, участвующего в обработке $Q_{потр}$, МДж/кг.

В величину τ_Σ входило, в зависимости от способа приготовления, длительность нагрева (которая может быть временем приготовления кипятка при распространенном методе заливки кипятком материала, или длительность кипячения материала, или время выдержки в микроволновой камере) $\tau_н$ и длительность дальнейшего настаивания (в таблице не указана).

Под традиционным методом приготовления экстрактов подразумевается процесс приготовления отваров. Количество энергии рассчитано согласно выражению: $Q = m_г \cdot q$, где $m_г$ - масса газа затрачиваемая на нагрев жидкости, q - удельная теплота сгорания газа, определено по справочной литературе.

При микроволновом экстрагировании потребляемое количество энергии на нагрев рассчитывается: $Q = \frac{P_{вих} \cdot \tau}{m}$, где τ - время обработки.

Традиционное получение экстракта из молокана дикого (применялось против ржавчины роз) не требовало затрат энергии, а длительность определяется объемом материала. В таблице указано время, необходимое для обработки того же количества материала, что и в микроволновом методе.

Как видно из таблицы, применение МВ поля существенно интенсифицирует процесс извлечения целевого компонента. Наиболее явно это можно наблюдать при экстрагировании из плотного растительного материала – хвои, шелухи лука.

Используя в ходе эксперимента свежий растительный материал с повышенным содержание сока, например, алоэ, и применяя метод предварительной обработки растительного сырья в МВ камере для распушения целлюлозных волокон, можно существенно интенсифицировать процесс получения экстрактов. Температура клеточного сока внутри пектат-целлюлозной оболочки растет, стенки сосудистой системы не выдерживают высокого внутреннего давления, создаваемого в результате поглощения микроволновой энергии, и разрываются, позволяя тем самым жидкости свободно вытекать, при этом получается концентрированный экстракт. Применение такого способа экстрагирования для термолабильных биологически активных веществ дает дополнительную возможность интенсификации процесса в условиях действия микроволнового поля.

Выводы

При экстрагировании с целью получения биопестицидов из всех исследованных экстрагентов (спирт, пропиленгликоль, вода и смеси на их основе) приемлема только вода, применение других веществ приводит к угнетению самого растения.

Водные экстракты БАВ не допускают длительное хранение, в связи с чем производство биопестицидов при извлечении термолабильных БАВ, не допускающих длительную выдержку при температуре пастеризации, целесообразно проводить непосредственно перед применением препарата.

Экстракты, основанные на термостабильных БАВ, позволяют выполнить условия по их консервации, что открывает возможности как для сезонных заготовок экстрактов с целью их применения при появлении болезней у растений, так и для создания условий существенной интенсификации извлечения экстрактивных веществ, что возможно при обработке неоднородной растительной ткани на температурном уровне выше 70°С.

Энергетическая эффективность экстрагирования БАВ из ряда растительных материалов (в частности, хвои, шелухи лука, полыни, молочая прутьевидного) с применением энергии МХ поля выше в сравнении с традиционной технологией в 3,8 (хвоя) - 16 (шелуха лука) раз.

Интенсивность извлечения биологически активных веществ увеличивается в 12 (шелуха лука) - 48 (молочай прутьевидный) раз в сравнении с традиционной технологией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токин Б.П. Целебные яды растений. Повесть о фитонцидах. Изд. 3-е, испр. и доп.— 5 Изд-во Ленингр. университета, 1980. - 280 с.

2. Васина А.Н. Использование растений диких видов для борьбы с вредителями садовых и овощных культур. - М.: Колос, 1972. - 59 с.

3. Chemat, F. Microwave-assisted extraction for bioactive compounds. Theory and practice. Микроволновое экстрагирование биоактивных соединений. Теория и практика / F. Chemat, G. Gravotto. – New York: Springer, 2013. – 248 s.

4. Kaufmann, B. Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurized solvent extraction / B. Kaufmann, P. Christen //Phytochemical Analysis, 2002. - Vol.13. - P.105–113.

5. Федорчук-Мороз, В. І. Механізм та кінетика екстрагування цільових компонентів з насіння амаранту: автореф. дис. … канд. техн. наук. / В. І. Федорчук-Мороз. – Л., 2008. – 27 с.

УДК 665.1.002.5;637202

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕРАБОТКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ МАСЛООТЖИМНОГО ПРЕССА

Джингилбаев С.С., д.т.н., Байболова Л.К., д.т.н., Медведков Е.Б., д.т.н., Каирбаева А.Е.
Алматинский технологический университет, г.Алматы, Республика Казахстан
E-mail:d.seit@mail.ru

Растительные масла являются одним из ценных пищевых продуктов. Они содержат большое количество необходимых для человеческого организма веществ и биологически важные элементы в удобоусвояемой природной форме и в оптимальном соотношении.

Извлечение масла методом отжима имеет древние корни. Изначально в маслобойных машинах использовался рычажный метод отжима, сжатие клином или ручной метод спирального отжима.

Современные способы извлечения масел, такие как прессовый способ и прессование с предварительной влаготепловой обработкой, а также экстракционный способ с последующими процессами рафинирования и дезодорирования, отбеливания – способствуют снижению его полезных свойств.

Прессование с предварительной влаготепловой обработкой в жаровнях: при этом повышается температура сырья, что влечет потери витаминов. Существует метод получения масла с максимальным сохранением полезных свойств масла (не разрушаются витамины). Такой метод называется холодным отжимом (способ прессования с регулируемой температурой отжатия). В масле, полученном таким методом, содержится наибольшее количество витаминов и полезных элементов. Как правило, для очистки таких масел, за некоторым исключением, достаточно только отстаивание, поэтому оно меньше подвергается окислению. Более ценным считается масло «первого холодного отжима» (англ. first cold press), хотя это понятие достаточно условно, так как масло в той или иной степени нагревается и при «первом холодном отжиме».

Для холодного отжима масла обычно используют гидравлические или шнековые пресса. При этом отжим производится с периодическим и непрерывным циклом. Процессы отличатются, но их суть остается неизменной: используется механическая сила для прессования и отжатия масла из масличных семян. Физические изменения происходят в процессе прессования: деформация масличных культур; отделение масла; трение и выделение тепла; испарение влаги. Температура и влажность изменяется, микроорганизмы в масличных культурах и другие подобные факторы вызывают химические изменения, такие как пассивация и разрушение ферментов, денатурация белков и т.д.

В процессе прессования меняется структура масличных культур. При высокой степени сжатия масличное сырье превращаются в жесткий жмых, и при этом из него извлекается масло. Масло, прежде всего, извлекается с поверхности жмыха или с близкой к поверхности области. Отжим способствует уплотнению структуры поверхности жмыха, которая не пропускает оставшееся внутри масличного сырья масло, наружу. Низкая вязкость масла, закрытые каналы выхода, высокое давление – это те три фактора, которые влияют на скорость извлечения масла, поэтому качество масличных культур и применяемой техники являются очень важными составляющими.

На основании различных литературных данных предложены следующие три способа метода холодного отжима [1]:

1 способ – предполагает нагревание масличного сырья за счет сил давления и трения, при этом температура масличного сырья не должна превышать +50°С. Усилие сжатия внутри отжимающего устройства достигает Р $\leq$ 8 *мПа,* причем образующееся при этом тепло необходимо удалять за счет специальных холодильных устройств, расположенных в полых шнековых валах прессующего устройства или через наружные поверхности зеерного цилиндра пресса. Что в том и ином случае чрезвычайно усложняет конструкцию отжимного устройства;

2 способ – предполагает осуществлять отжим масла при температуре масличного сырья в пределах +50 – +70 °С. Данный способ также является сложно достижимым при использовании существующих прессующих шековых или гидравлических прессов. При отжиме масличного сырья традиционными устройствами степень оказываемого на сырье давления составляет Р = 8…10 *мПа;*

3 способ – предполагает предварительную влаготепловую обработку масличного сырья, либо нагревание масличного сырья, которое происходит дополнительно в прессующем тракте маслоотжимного пресса за счет специально подобранных ТЭНов. При этом температура масличного сырья должна находиться в пределах t=+70….+100 ^{0}С, а усилие сжатия, соответственно составлять Р = 10…12 *мПа.*

Последние два способа получили наибольшее распространение. Совершенно очевидно, чем меньше температура воздействия на масличное сырье, тем более качественным получается масло. Причиной низкого качества вырабатываемого масла является нестабильное состояние витаминов (А, D, E, K) в сырье, чем больше температура переработки, тем меньше витаминов остается в конечном продукте.

Совершенно новым в технологии холодного отжима является применение быстровращающихся экструзионных шнековых маслопрессов.

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования а также литературный обзора /2,3/ работы шнековых нагнетателей экструдеров, а также маслоотжимных прессов, работающих по экструзионной технологии и по технологи холодного отжима, показал, что производительная работа таких механизмов складывается из вынужденного движения (так называемый прямоток, когда движение материала происходит из-за движения «поверхности канала») и Δ Р = 0, масличный материал не встречает сопротивления, $\rho \rightarrow$ min.

$$Q_b = \frac{U_Z}{2} BH = \pi \cdot D \cdot n \cdot \cos\beta \frac{BH}{2}, \text{м}^3/\text{с}. \quad (1)$$

и обратного движения материала (противоток – когда материал движется от диффузорного устройства к загрузочной зоне) под действием давления, создаваемого диффузорным устройством

$$Q_{np} = \frac{1}{12} \frac{BH^3}{L} \frac{1}{\mu} \Delta P, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2)$$

Расходно-напорная характеристика шнекового нагнетателя в общем виде напишется как разность прямотока и противотока/2/.

$$Q_H = Q_b - Q_{np} = \frac{U_Z}{2} BH - \frac{1}{12} \frac{BH^3}{L} \frac{1}{\mu} \Delta P, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3)$$

или

$$Q_H = \pi \cdot D \cdot n \cdot \cos\beta \frac{BH}{2} - \frac{1}{12} \frac{BH^3}{L} \frac{1}{\mu} \Delta P, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4)$$

где: В и Н – ширина и высота шнекового канала, (В = 0,03 м., Н = 0,007 м. берется значение экспериментальной установки); L – общая длина шнекового канала; D - диаметр шнекового цилиндра, D= 0,17 м.; β - угол наклона витков шнека обычно для шнековых нагнетателей β = 8 ^{o}.

Так как в шнековом канале движение материала осуществляется за счет движения поверхности канала, а плотность материала минимальна ρ = 500 кг/м^3, то уравнение (4), имея ввиду плотность материала, перепишется в следующем виде, при этом производительность шнекового нагнетателя будет оцениваться в килограмм в секунду (кг/с)

$$Q_H = \pi \cdot D \cdot n \cdot \rho \cdot \cos\beta \frac{BH}{2} - \frac{1}{12} \frac{BH^3}{L} \frac{1}{\mu} \rho \cdot \Delta P, \text{ кг/с}. \quad (5)$$

Для построения расходно-напорной характеристики шнекового нагнетателя необходимо в уравнении (5) поочередно приравнивать к нулю развиваемое нагнетателем давление и производительность установки.

В случае, когда $\Delta P = 0$, то производительность установки определится из выражения:

$$Q_H = Q_b = \pi \cdot D \cdot n \cdot \rho \cdot \cos\beta \frac{BH}{2}, \text{ кг/с}, \quad (6)$$

где $n = \frac{0{,}1N}{2\pi}$, c^{-1}.

Решение вышеуказанного уравнения для различного числа оборотов шнекового вала нагнетателя представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Производительность шнекового нагнетателя в зависимости от числа оборотов шнекового вала маслопресса

N,об/мин	200	300	400	500	600
n, c^{-1}.	3,18	4,77	6,36	7,95	9,54
Q_b ,кг/с.	0,088	0,132	0,176	0,22	0,264
Q_b ,кг/ч.	317,1	475,2	633,6	792	950,4

Для случая $Q_H = 0$ уравнение (5) примет следующий вид:

$$\Delta P = \frac{\pi D \cdot n \cdot B \cdot H \cdot \rho \cdot \cos\beta \cdot 12 \cdot L \cdot \mu}{2B \cdot H^3 \cdot \rho}, \text{ мПа}; \quad (7)$$

Решение полученного уравнения в зависимости от частоты вращения шнекового нагнетателя при различной температуре смеси масличного материала внутри маслоотжимного пресса представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Развиваемое внутри шнекового тракта давление P в зависимости от частоты вращения шнекового вала (n,c^{-1}) при различной температуре масличного сырья (t^0,C)

t^0,C	μ ,Па.с	N,об/мин	200	300	400	500	600
		n,c^{-1}	3,16	4,77	6,36	7,95	9,54
20	22,27	P,мПа	9,7	14,64	19,5	24,4	29,3
30	17,8	P,мПа	7,74	11,68	15,6	19,5	23,4
40	13,09	P,мПа	5,7	8,6	11,4	14,3	17,2
50	9,41	P,мПа	4,1	6,2	8,3	10,3	12,4
60	5,73	P,мПа	2,5	3,7	5,02	6,3	7,5
80	3,55	P,мПа	1,54	2,3	3,1	3,88	4,66
90	2,96	P,мПа	1,28	1,95	2,59	3,24	3,89
100	2,37	P,мПа	1,03	1,55	2,07	2,59	3,11

По результатам проведенных экспериментов и проведенных на их основе расчетов построим расходно-напорную характеристику экструзионного маслоотжимного пресса при прямом прохождении массы через экструдер без учета выделения масла, при различной степени раскрытия регулируемого устройства.

По определенным значениям производительности и развиваемого напора строится график расходно-напорной характеристики экструзионного маслоотжимного пресса без учета отжимаемого масла. На рис 1 представлен график расходно-напорной характеристики для четырех значений температуры t^0C(60,80,90,100,110) и частоты вращения шнекового вала 300,400,600 об/мин.

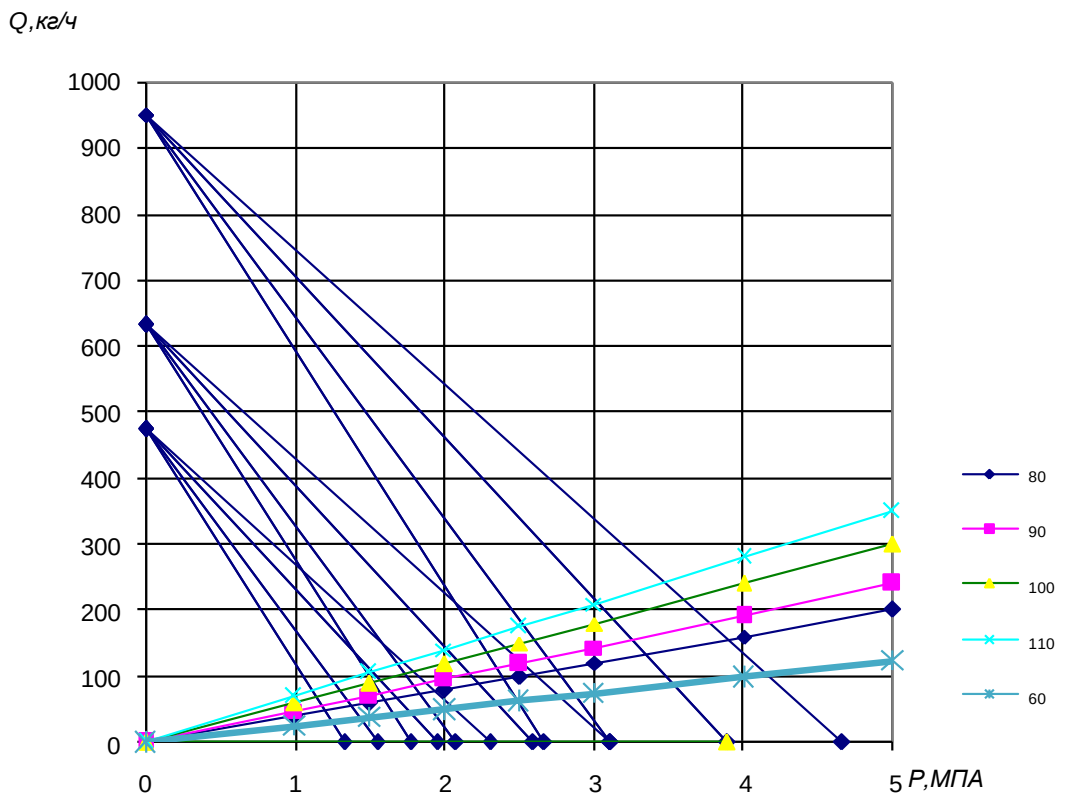


Рис. 1 - Расходно-напорная характеристика маслоотжимного пресса, (совместная работа формирующей головки и шнекового нагнетателя), при числе оборотов шнекового вала 300,400,600 об/мин и температуре масличного материала t = 60^0,80^0,90^0,100^0,110^0 С (без выделения масла).

Характеристика шнекового нагнетателя определяется прямыми, пересекающими ось абсцисс Q (производительность нагнетателя) и ось ординат P (давление внутри шнекового нагнетателя).

Точки пересечения прямой с осью абсцисс Q представлены в таблице 1 (при давлении внутри маслоотжимного пресса P=0, а производительность установки Q – max). Точки соприкосновения прямых с ординатой P даны в таблице 2 (при производительности установки Q=0, давлении масличного материала P- max и различной температуры смеси t- var).

Характеристика суживающего устройства (формирующей головки) определяется по формуле /2/

$$Q_{\phi} = \frac{1}{12} \cdot \frac{bh^3}{l\mu} \Delta P \cdot \rho \text{, кг/с} \qquad (8)$$

где: b - ширина канала, м.; h- высота канала, м.; l - длина канала, равна длине дозирующего устройства, м. ; ΔP - давление, развиваемое шнековым нагнетателем, Па.; ρ - плотность масличного материала, кг/м^3; μ - вязкость материала, мПа/ с.

Характеристика суживающего устройства на рис. 1 будет определятся в виде прямых, начинающихся с нулевой точки пересечения оси абсцисс и ось ординат.

Расходно-напорная характеристика исследуемого экструзионного маслоотжимного пресса находится из пересечении прямых характеристики шнекового нагнетателя и суживающего устройства (формирующей головки), а точки пресечения называются рабочими точками исследуемого устройства. Перпендикуляр от точки пересечения на ось абсцисс позволяет определить искомое развиваемое давление, а горизонталь от точки пересечения к оси ординат – производительность исследуемой установки.

Рассмотрение процесса взаимосвязи производительности и развиваемого давления внутри экструзионнного маслоотжимного пресса проводилось без учета операции выделения масла. Поэтому в общем виде при рассмотрении работы шнекового нагнетателя маслоотжимного пресса помимо прямотока и противотока масличного материала необходимо включать и отжимаемое масло Q_M . И

как было установлено проведенными нами исследованиями, расходно-напорная характеристика маслоотжимного пресса как система уравнений (9).

$$\begin{cases} Q_{\Phi} = \dfrac{k_{\Phi}}{\mu}\Delta P \\ Q_{H} = k_{H1}n - \dfrac{k_{H2}}{\mu}\Delta P - Q_{M} \end{cases} \qquad (9)$$

Количество выделенного масла Q_M определится из выражения:

$$Q_M = F\sqrt{\frac{\omega^2 \cdot B \cdot H \cdot r \cdot h_0 \cdot \rho_{ж} \cdot 0{,}4}{F \cdot \rho_M}}\ ,м^3/с. \qquad (10)$$

где: B, H – ширина и высота канала шнекового цилиндра, B = 0,03 м, H = 0,007 м.; n – частота вращения шнекового вала, мин$^{-1}$; ω - угловая скорость шнекового вала, с$^{-1}$; r – радиус шнекового цилиндра, r = 0,0085 м.; ρ_M - плотность масла, ρ_M = 900 кг/м^3; F – площадь поверхности через которую выделяется масло, м^2.

$$F = \delta \cdot l \cdot z$$

где δ - толщина щели зеерного цилиндра δ = 0,00015…0,0002 м.; l-длина зеерного цилиндра, l = 0,2 м.; z -количество зеерных щелей (планок), z = 45.

Таким образом, расход шнекового нагнетателя с учетом выделенного масла запишется с учетом системы уравнений (9) в виде выражения

$$Q_H = \rho\pi Dn\frac{BH}{2}\cos\beta - \frac{1}{12}\frac{BH^3}{L\mu}\rho_2\Delta P - \rho_2 F\sqrt{\frac{(0.1n)^2 BHrh_0\rho_{Ж}0{,}4}{F\rho_M}}\ , \qquad (11)$$

где L – длина шнекового канала, L= $2\pi r \cdot 4$,м.

Для построения расходно-напорной характеристики экструзионного маслоотжимного пресса с учетом выделенного масла используем систему уравнений (9) и уравнение (11) . На рисунках 2, 3 представлены расходно-напорные характеристики маслоотжимных прессов при частоте вращения шнекового вала 400, 600 мин$^{-1}$.

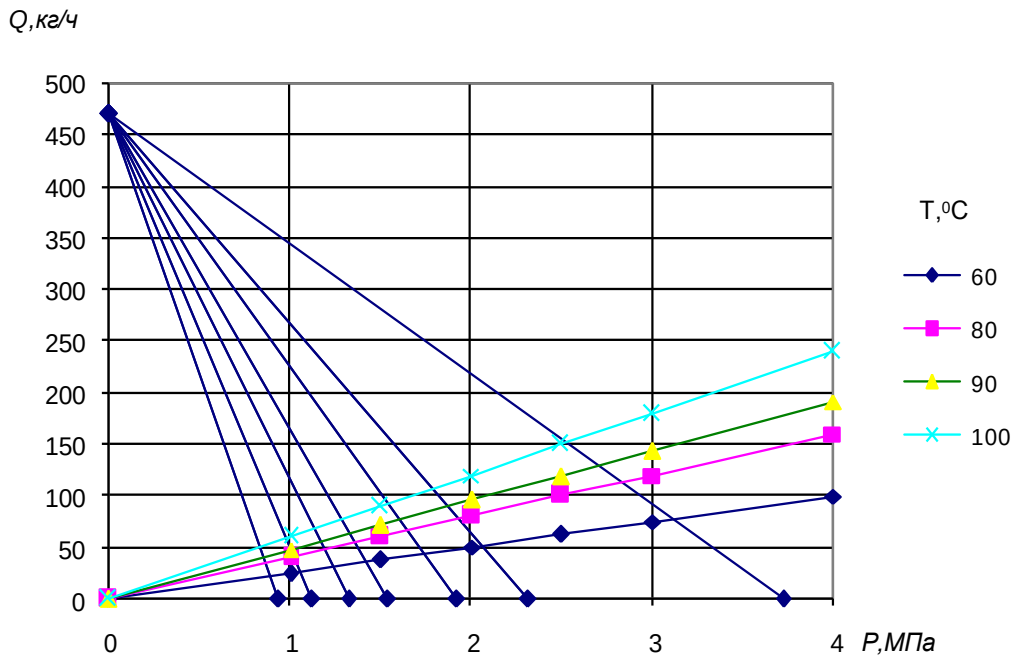


Рис. 2 - Расходно-напорная характеристика маслоотжимного пресса холодного отжима при величине открытия диффузора h=0.003м и частоте вращения шнекового вала n=400об/мин, при различной температуре масличного сырья (с выделения масла).

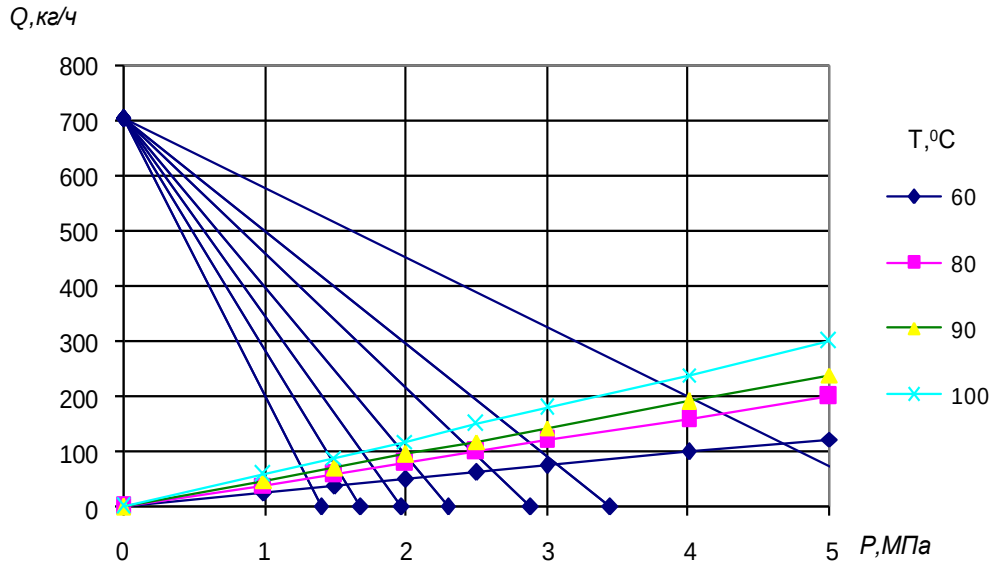


Рис. 3 - Расходно-напорная характеристика маслоотжимного пресса холодного отжима при величине открытия диффузора h=0.003м и частоте вращения шнекового вала n=600об/мин, при различной температуре масличного сырья (с выделения масла).

Таким образом, проведенные исследования позволили установить зависимость производительности маслоотжимного пресса от развиваемого внутри шнекового тракта напора и температуры переработки. Установлено, что работа шнековых нагнетателей с выделением масла и без выделения масла отлична, так как при выделении масла общая производительность нагнетателя по семенам снижается на 26…27%, при этом величина развиваемого напора изменяется незначительно. Снижение температуры переработки также снижает общую производительность пресса. Предложена методика определения производительности установки в зависимости от развиваемого давления (мощности) маслоотжимных прессов. Найденные значения зависимости производительности от развиваемого внутри шнекового тракта давления и температуры переработки позволяют при проектировании маслотжимных прессов определять мощность установки, а также конструктивно-технологические параметры прессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джингилбаев С.С. Развитие научных основ интенсификации процесса отделения растительного масла на экструдерах: автореф. дисс. на соискании ученой степени д.т.н., Алматы, 2004.

2. Азаров Б.М. Технологическое оборудование пищевых производств. Агропромиздат, 1988.- 463 с.

3. Моисеев П.И. Расход энергии на экструдирование АКД//Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1982.-№8.-С.15-19.

УДК 620.92:621.565.58

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В АБСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Данько В.П., к.т.н., Краснодар, Российская Федерация,
E-mail: vladislav.danko@mail.ru

Проблема эффективного использования энергоресурсов остро стоит на повестке дня для многих стран мира. Актуальность этой проблемы была подчеркнута на конференции по климату в Париже (COP21), посвящённой климатическим изменениям, которая проходила в Ле-Бурже во Франции в 2015 году. Одним из вариантов решения данной проблемы является переход традиционных холодильных систем и систем кондиционирования на альтернативные системы жизнеобеспечения, работающие по принципу открытого абсорбционного цикла с использованием солнечной энергии для регенерации абсорбента. Под системами жизнеобеспечения авторы понимают систему, которая обеспечивает отопление, горячее и холодное водоснабжение, а также комфортные параметры микроклимата в жилых и

технологических помещениях. Авторами были использованы теоретические и экспериментальные материалы, полученные при создании воздухоохладителей (ВПН) и вентиляторных градирен с подвижной насадкой (ГПН), а также многолетний и объемный опыт инженерной реализации таких аппаратов в энергетических системах и схемах оборотного водоснабжения [1, 2].

В работах [3, 4, 5, 6, 7, 8] приведены разработанные схемные решения многофункциональных солнечных систем, включающие блок осушения воздуха, в составе абсорбера и десорбера, в которых обеспечивается предварительное осушение наружного воздуха и восстановление концентрации абсорбента. В качестве абсорбента используются композиты на основе бромисто-литиевых растворов. Поскольку, при поглощении водяных паров из воздуха выделяется теплота, требуется охлаждение абсорбера, для чего в схеме используется технологическая градирня с псевдоожиженной насадкой (ГПН/т). На потоках горячего «крепкого» и холодного «слабого» растворах абсорбента установлен теплообменный аппарат (Т/О). В охладительном блоке схемы используется охладитель продуктовой воды – продуктовая градирня с (ГПН/пр), либо воздухоохладитель (ВПН), обеспечивающие термовлажностную обработку подаваемого в помещение воздушного потока. Схемы построена на многоступенчатом охлаждении «продуктовой» воды, включающей в качестве первой ступени градирню ГПН/т, а в качестве второй и третьей ступеней охлаждения теплообменники, входящие в состав «продуктовой» градирни ГПН/пр (опорно-распределительные решетки секций ГПН/пр).

Оформление всех тепломассообменных аппаратов унифицировано и основывается на использовании трехфазных слоев «газ – жидкость – твердое тело».

При разработке альтернативных систем было выявлено, что одной из серьезных проблем, характеризующей надежность абсорбционных холодильных систем, является опасность отложений на рабочих поверхностях тепломассообменной аппаратуры, при работе на водных растворах, жидких сорбентов [8, 9]. Для решения данной проблемы авторами принято решение о замене регулярной (неподвижной) насадки, которая используется в теплообменных аппаратах для увеличения поверхности теплообмена на псевдоожиженный слой, который представляет собой цельные шары из вспененного полипропилена ($d_{эн}$ =40,1 мм, $\rho_{эн}$ = 248 кг/м^3) и серии полых шаров ($d_{эн}$ =37,1 мм, $\rho_{эн}$ = 300…600 кг/м^3), последовательно (группами) частично заполняемых жидкостью для обеспечения требуемой эффективной плотности. Экспериментальный стенд [4, 5, 9] состоял из колонны цилиндрической формы, состоящей из набора прозрачных царг диаметром $D_к$ ≈200 мм и высотой $H_к$ = 1000 мм. С учетом высоты опорно-распределительной решетки, высота рабочей зоны колонны составляет 950мм (при двухъярусном или трехъярусном расположении насадки высота рабочей зоны каждого яруса составляла часть общей высоты колонны при равновеликом разбиении на отдельные секции).

Внутри колонны размещена опорно-распределительная решетка ОРР со слоем подвижной насадки ПН и водораспределитель с варьируемым расположением по высоте колонны. Величины живого сечения ОРР $f_{орр}$ = 65-85% и статической высоты насадки $H_{ст}$ = 50 – 150 мм изменялись дискретно. В распределительных камерах (нижней и верхней) расположены измерительные датчики. Распределение жидкости по высоте рабочей зоны определяли визуально. Сепаратор капельной влаги вертикального типа был выполнен из двух секций и обеспечивал возврат уносимой воздушным потоком жидкости в систему и измерение ее количества.

Возможности стенда: расходы теплоносителей и теплофизические параметры изменялись в диапазонах: $w_г$ = 1,5-7 м/с, $q_ж$ = 5-35 м^3/(м^{2}ч), $t_г$ до 50°С, $\varphi_г$ = 30-90%, начальная температура жидкости $t_ж$ до 40°С. Величина $H_{ст}$ сохранялась постоянной в опытах с одно- двух- и трехъярусным расположением насадки. Важным представляется выбор живого сечения ОРР, на основе полученных результатов, в дальнейших опытах использовалось $f_{ОРР}$ = 75%, причем это значение сохранялось одинаковым для ОРР обоих ярусов насадки. Рабочий диапазон скоростей газа, характеризующий режим развитого псевдоожижения, составляет $w_г$ = 2,5…6 м/с. Изоляция трубопроводов, по которым движется теплоноситель, производилась по методикам, изложенных в работах [10, 11, 12], что позволило максимально снизить потери теплоты в окружающую среду.

На рис. 1-3 приведены экспериментальные результаты исследования процессов в изучаемых тепломассообменных аппаратах в виде эффективности охлаждения воды и степени использования воздушного потока в зависимости от характеристического числа Λ. Оптимальное значение соотношения потоков газа и жидкости для ГПН составляет $l = G_Г/G_Ж$ ≈ 0,8-1.2, при этом эффективность охлаждения воды составляет в среднем, в зависимости от величины Λ, диапазон значений 0,5-0,8. Отметим, что ранее, в опытах с ГРН, с насадкой из теплопроводного материала – гофрированной алюминиевой фольги[4], эта величина составляла в среднем 0,8-1,0, при близком значении эффективности процесса.

Удобной, в практическом отношении, является форма представления опытных данных в виде эффективности процесса. Эффективность испарительного охлаждения воды в градирне характеризуется величиной:

$$E_ж = \frac{Wc_ж\left(t_ж^1 - t_ж^2\right)}{Wc_ж\left(t_ж^1 - t_м^1\right)} = \frac{\left(t_ж^1 - t_ж^2\right)}{\left(t_ж^1 - t_м^1\right)},$$

равной отношению фактически отведенного от воды тепла к предельному количеству, определяемому равенством $t_ж^2 = t_м^1$. Величина $E_ж$ характеризует только одну сторону процесса в аппарате. Эффективность использования газового потока (изменения состояния воздуха) характеризуется величиной $E_г$:

$$E_г = \frac{G_г\left(h_г^2 - h_г^1\right)}{G_г\left(h_г^{2*} - h_г^1\right)} = \frac{\left(h_г^2 - h_г^1\right)}{\left(h_г^{2*} - h_г^1\right)},$$

равной отношению тепла, вынесенного из аппарата потоком воздуха к предельному его количеству, определяемому равенством $h_г^2 = h_г^{1*}$ ($t_м^2 = t_ж^1$). Следует предположить наличие зависимостей $E_ж = f(\ell = G_г/G_ж,\ t_ж^1,\ t_м^1)$ и $E_г = f(\ell = G_г/G_ж,\ t_ж^1,\ t_м^1)$. В зависимости от величины соотношения потоков ℓ состояние равновесия может иметь место на верхнем либо нижнем концах градирни. Одновременно на обоих концах равновесие не наступает, что объясняется кривизной линии насыщения. Предложена модель «идеальной» противоточной градирни (в общем случае «идеального» тепломассообменного аппарата), которой соответствует термодинамическое равновесие на обоих концах аппарата. При этом в качестве оптимального процесса в градирне рассмотрен такой, при котором выходящая холодная вода с поступающим в градирню свежим воздухом, также как отработанный воздух с поступающей в градирню теплой водой достигают при стационарном тепло- и массообмене термодинамического равновесия. Такому испарительному охладителю ИО отвечает «идеальная» величина соотношения потоков:

$$\ell_{ид} = \left(\frac{G_г}{W^1}\right)_{ид} = \frac{c_ж\left(t_ж^1 - t_м^2\right)}{\left(h_г^{1*} - h_г^1\right) - c_ж t_м^2\left(x_г^{1*} - x_г^1\right)},\ \Lambda = \ell / \ell_{ид}.$$

На рис. 3 приведены сравнительные данные для двух- и трехъярусного расположения насадки, причем в изученных вариантах сохранялось постоянство значений f_{OPP} и H_{opp} и суммарная величина $H_{ст.}$

Полученные экспериментальные данные могут быть представлены в виде зависимостей:

$$E_ж = c\,(1 - e^{-1.1\,\Lambda}),\ E_г = c\,(1 - e^{-1.1\,\Lambda})\,\Lambda^{-1},\ E = c^2\,(1 - e^{-1.1\,\Lambda})^2\,\Lambda^{-1},$$

Опытные данные для ГПН получены для условий, соответствующих значениям Λ = 0,5-11,0 и, с погрешностью ± 15% могут быть описаны этими выражениями, где величина c ≈ 0.85. (Ранее в работе [4] для насадок из алюминиевой фольги c ≈ 0.9). Некоторое снижение эффективности при переходе на подвижную насадку компенсируется повышением надежности эксплуатации ТМА.

На основании выполненных исследований можно сформулировать рекомендации к оформлению колонной тепломассообменной аппаратуры для разрабатываемого класса солнечных систем:

– Рекомендуется одинаковая высота рабочей зоы $H_{РЗ}$ каждого яруса при одинаковых значениях f_{OPP} и H_{OPP} для опорно-распределительной решетки (в равной мере это касается ОРР, выполненной в виде теплообменника);

–Оптимальным для реализации процессов является значение $H_{ст}$ ≅0,1-0.2м (при $H_{ст}$ < 0,1м элементов насадки в слое оказывается недостаточно для создания равномерного псевдоожиженного слоя и имеет место каналообразование, связанное с «проскоком» газа через слой и раздельным течением материальных потоков; при $H_{ст}$ > 0,2 м имеет место непроизводительный рост приведенных затрат и окончательное решение определяется реальностями реализуемых процессов тепломасообмена);

– Режим развитого псевдоожижения, оптимальный с точки зрения реализации рабочих процессов в аппаратах, соответствует диапазону $\rho_{эн}$ = 300…600 кг/м^3 (размер и форма элемента насадки ЭН: – форма шарообразная; тип элемента цельный; материал ЭН вспененный полипропилен; диаметр ЭН – 30-50мм);

– Высота статического слоя насадки, – $H_{ст}$ ≅ (3-5)$d_{эн}$ (H_{CT} = 0,05…0,2м) (оптимальным для реализации процессов является значение $H_{ст}$ ≅0,1-0.2м; при $H_{ст}$ < 0,1м элементов насадки в слое оказывается недостаточно для создания равномерного псевдоожиженного слоя и имеет место каналообразование, связанное с «проскоком» газа через слой и раздельным течением материальных потоков; при $H_{ст}$ > 0,2м имеет место непроизводительный рост приведенных затрат и окончательное решение определяется реальностями);

– Рабочими нагрузками для тепломассообменных аппаратов с подвижным слоем являются: скорость движения газового потока (в расчете на «пустое» сечение колонны): 2,5< $w_г$ ≤ 6,0 м/с; плотность орошения насадки $q_ж$ ≥ 15 м^3/(м^{2}ч) (область значений $q_ж$ < 8-10м^3/(м^{2}ч) соответствует «осушенному» состоянию слоя (недостаточная задержка жидкости в слое ПН) и для процесса испарительного охлаждения воды не может быть рекомендована);

– Величина характеристического числа $\Lambda = l/l_{ид}$ = 0,5-11,0 [4], соотношение потоков газа и жидкости $l = G_г/G_ж$ = 1,0 (в этом диапазоне l отмечается высокая устойчивость процессов тепломасообмена в широком диапазоне нагрузок и малая чувствительность к их колебанию; ограничения по нагрузкам обусловлены только уровнем энергозатрат).

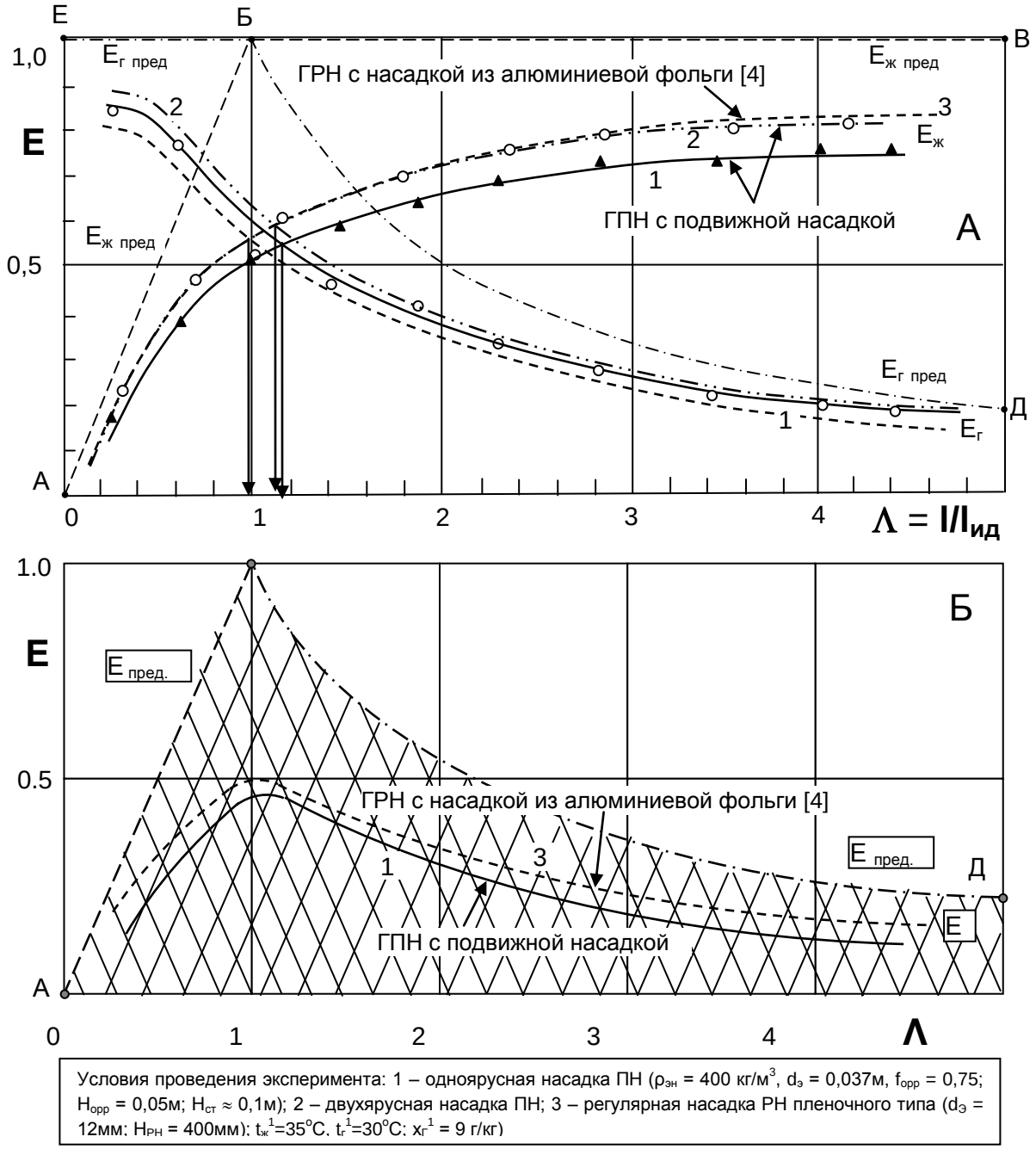
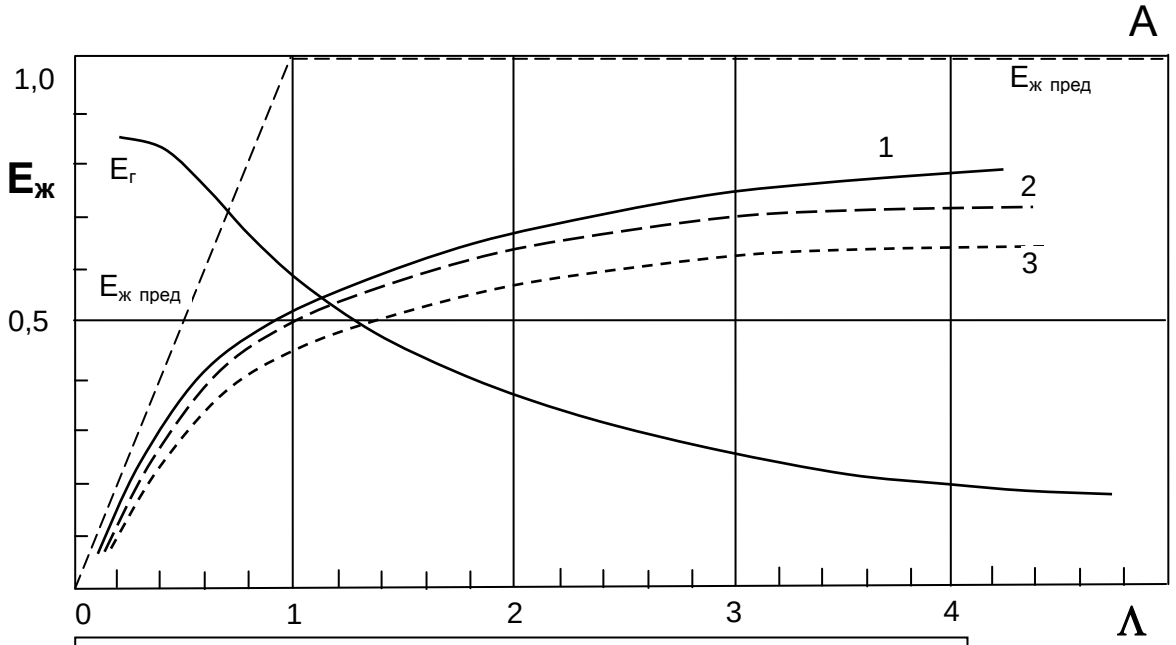
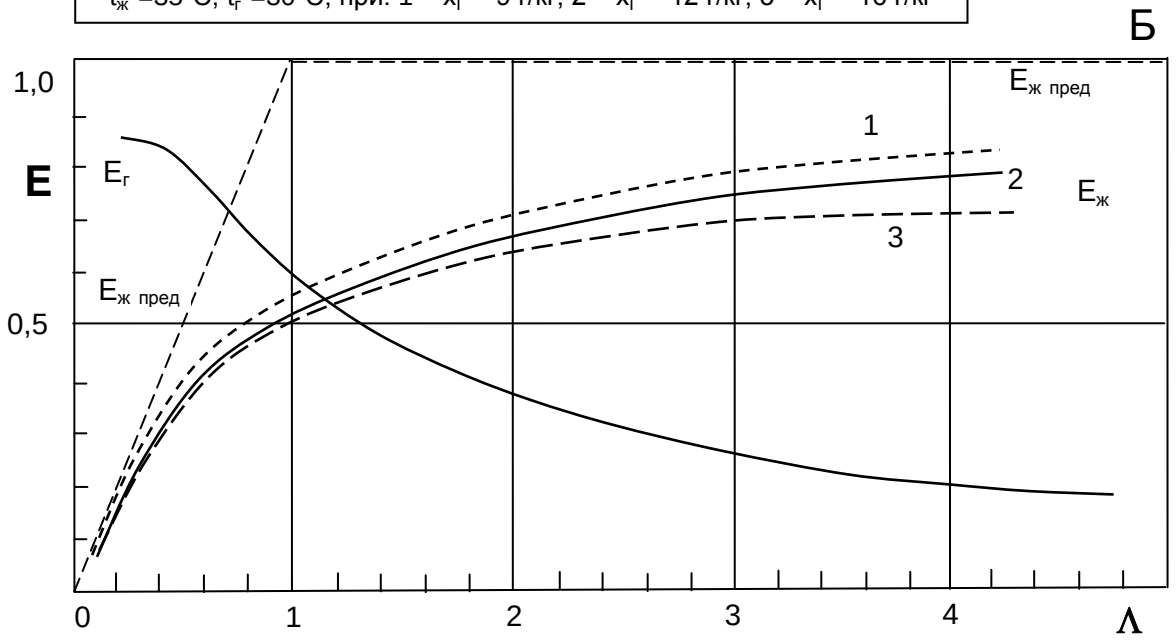


Рис. 1 – Эффективность процесса охлаждения воды и использования воздушного потока в градирне как функции характеристического числа Λ. А – Сравнительные характеристики ГПН и ГРН (по данным работы [4] на насадке из алюминиевой гофрированной фольги с параметрами слоя: $d_Э$ = 12мм; $H_{РН}$ = 400мм.), и на подвижной насадке ($ρ_{эн}$ = 400 кг/м^3, $d_э$ = 0,037м, $f_{орр}$ = 0,75; $H_{орр}$ = 0,05м; $H_{ст}$ ≈ 0,1м);

Б – Эффективность процесса Е (предельные линии А-Б-Д) в испарительном водоохладителе; на графиках заштрихованы области возможных значений величин эффективности процессов и показано протекание соответствующих зависимостей



Влияние влагосодержания воздуха на входе в градирню.
Условия проведения эксперимента: одноярусная ПН;
($\rho_{эн}$ = 400 кг/м^3, $d_э$ = 0,037м, $f_{орр}$ = 0,75; $H_{орр}$ = 0,05м; $H_{ст} \approx$ 0,1м);
$t_ж^1$=35°C, $t_г^1$=30°C, при: 1 – $x_Г$ = 9 г/кг, 2 – $x_Г$ = 12 г/кг, 3 – $x_Г$ = 16 г/кг



Влияние температуры воздуха на входе в градирню.
Условия проведения эксперимента: одноярусная ПН;
($\rho_{эн}$ = 400 кг/м^3, $d_э$ = 0,037м, $f_{орр}$ = 0,75; $H_{орр}$ = 0,05м; $H_{ст} \approx$ 0,1м);
$t_ж^1$=35°C, $x_Г$ = 9 г/кг, при 1 – $t_г^1$=25°C, 2 – $t_г^1$=30°C, 2 – $t_г^1$=30°C

Рисунок 2 – Эффективность процесса охлаждения воды и использования воздушного потока в градирне как функции характеристического числа Λ.

А – Влияние начального влагосодержания наружного воздуха.

Б – Влияние температуры наружного воздуха.

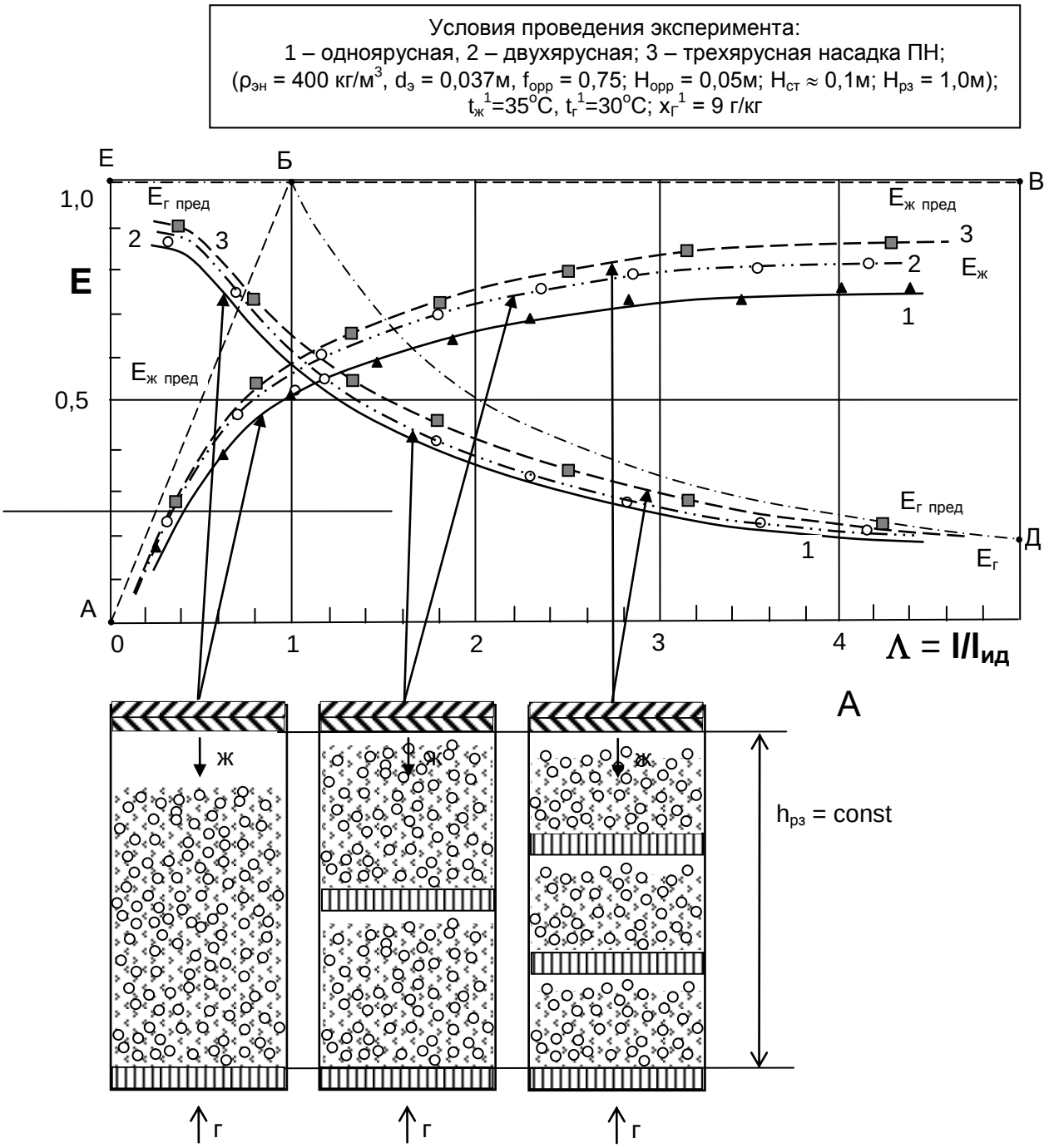


Рисунок 3 – Эффективность процесса охлаждения воды и использования воздушного потока в градирне как функции характеристического числа Λ. Влияние числа секций в ГПН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горин А.Н. Тепломассообменные аппараты с подвижной насадкой для традиционных и альтернативных энергетических систем: моногр. / А. Н. Горин, А. В. Дорошенко, В. П. Данько. –Донецк : Світ книги, 2013. – 327 с.

2. Данько В.П. Солнечные коллекторы с металло-полимерным абсорбером для систем теплохладоснабжения // "Научные труды" Одесской национальной академии пищевых технологий. 2014. -Т. 1. -№ 45. -С. 88-94.

3. Дорошенко А.В., Ю.В. Турбовец, Данько В.П. Металло-полимерные солнечные коллекторы с многоканальным абсорбером для многофункциональных энергетических систем // «Problems of the regional energetics» № 2 (19). -2012. -С. 42-50.

4. Горін А. Н., Красновський І. Н., Данько В. П. Экспериментальный стенд для определения коэффициентов теплоотдачи при кипении рабочих тел: пат. 77193 Україна : МПК (2013.01) F 25 D 31/00 / 2013, Бюл. № 3. – 4 с.

5. Данько В.П., Бобровский Р.Э. Солнечные коллекторы с многоканальным абсорбером для систем жизнеобеспечения / Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: материалы IV Международной научно-практической конференции, 2014. С. 307 – 311.

6. Данько В.П., Вилькос И.И. Металло-полимерные солнечные коллекторы с многоканальным адсорбером для многофункциональных энергетических систем / Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья : материалы III Международной научно-практической конференции. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 366- 370.

7. Ржесик К.А., Кулешов Д.К. Усовершенствование метода определения теплоизоляционных свойств шкафа многокамерных бытовых холодильных приборов / // Современная техника и технологии. -2015. -№ 9 (49). -С. 63-67.

8. Кулешов Д.К. Влияние наночастиц TiO_2 на энергетическую эффективность холодильных машин, работающих на изобутане // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. -2014. -Т. 5. -№ 8 (71). -С. 47-52.

9. Дорошенко А.В., Васютинский С.Ю., Данько В.П., Глауберман М.А. Исследование процессов в тепломассообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем // Физика аэродисперсных систем. – О., 2012. – № 49. – С. 14-26.

10. Данько В.П. Основные принципы построения осушительно-испарительных охладителей / Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: материалы III Международной научно-практической конференции – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 362- 365.

11. Данько В.П. Процессы тепломассообмена в слое подвижной насадки осушительного контура солнечных систем / Proceeding of IX International conference “Strategy of quality in industry and education” (May 31 – June 7, 2013, Varna, Bulgaria). -Vol. 3. -P. 50-53.

УДК 621.575

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРЕЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ВЫБОР ЦИКЛА АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Дзино А.А., к.т.н., Малинина О.С., к.т.н.
Университет ИТМО, Российская Федерация,
E-mail: dzinoaa@mail.ru

Для осуществления цикла абсорбционной холодильной машины необходимы три источника теплоты: охлаждаемый, охлаждающий и греющий. В качестве примера для исследования влияния температуры греющей среды (t_h) на выбор цикла принят цикл абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ). Температуры кипения и конденсации рабочего вещества в АБХМ являются «консервативными» параметрами. Температура греющего источника будет определять параметры для выбора термодинамического цикла и схемы. Рассматриваются теоретические циклы, в которых отсутствуют внешние и внутренние необратимые потери [1].

Для каждой конкретной температуры охлаждающей и охлаждаемой сред, в зависимости от температуры греющей среды, можно все основные схемы АБХМ разделить на три основные группы. Каждой такой группе будет соответствовать образцовый цикл с максимальной энергетической эффективностью. На рис. 1 представлены три группы абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин.

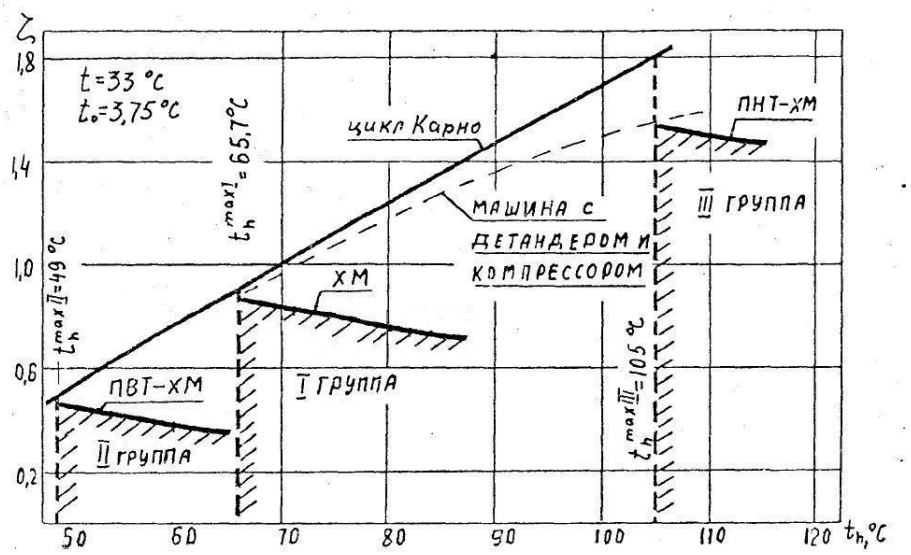


Рисунок 1 – Тепловой коэффициент основных групп теоретических циклов абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин в зависимости от температуры греющего источника

К первой группе относятся все одноступенчатые циклы холодильной машины: с совмещенными и раздельными процессами тепломассопереноса в растворных аппаратах, со ступенчатыми процессами десорбции и абсорбции, с растворным теплообменником и без растворного теплообменника и так далее. Эталоном для них является образцовый цикл, предложенный Б.М. Блиером [2].

Ко второй группе относятся: двухступенчатый цикл (цикл с двумя генераторами и двумя абсорберами), разработанный Альтенкирхом; цикл с материальной регенерацией, разработанный Б.М. Блиером и др. Для этой группы эталоном энергетической эффективности служит система циклов, состоящая из повышающего термотрансформатора и холодильной машины.

К третьей группе относятся циклы с двухступенчатым генератором и одним абсорбером, работающие по традиционным циклам: с прямоточной, противоточной и параллельной подачей раствора по ступеням генератора соответственно.

Для каждой из этих групп существует определенная температура греющей среды, ниже которой цикл не осуществим. Эти температуры определяются по образцовым циклам, с зоной дегазации, стремящейся к нулю. Для первой группы по образцовому циклу холодильной машины определена температура $t_h^{\max \mathrm{I}}$, для второй группы по образцовым циклам системы ПВТ – ХМ определена температура $t_h^{\max \mathrm{II}}$ и для третьей группы по образцовым циклам системы ПНТ – ХМ определена температура $t_h^{\max \mathrm{III}}$. На рис. 1 в координатах $t_h - \zeta$ определены области существования групп циклов абсорбционных холодильных машин. Левая граница определена предельными температурами $t_h^{\max \mathrm{I}}$, $t_h^{\max \mathrm{II}}$, $t_h^{\max \mathrm{III}}$ верхняя граница определена зависимостью $\zeta = \zeta(t_h)$. Правая граница конкретно не определена, так как максимально возможная температура греющего источника как для теоретического, так и для действительного цикла, будет определяться из условия кристаллизации крепкого раствора на холодном конце теплообменника или термической стабильности самого раствора.

На рис. 1 показана зависимость теплового коэффициента абсорбционной машины с детандером и компрессором от t_h, в которой абсорбционная часть работает по обычной схеме АБХМ, а в детандере и компрессоре совершаются процессы расширения и сжатия водяного пара [3]. Эта машина имеет пропорциональную характеристику зависимости $\zeta = \zeta(t_h)$. Это объясняется тем, что чем выше температура греющего источника, тем больше дополнительно отсасывается пара из испарителя компрессором, и тем больше становится холодопроизводительность машины. Компрессор работает за счет детандера, работа которого, в свою очередь, зависит от t_h. Кривая зависимости $\zeta = \zeta(t_h)$ действительного цикла этой машины будет располагаться на данном графике ниже.

Кривые зависимости тепловых коэффициентов действительных циклов от высшей температуры раствора в генераторе будут размещаться на рис. 1 внутри заштрихованного поля соответствующей группы.

Для действительных циклов высшая температура раствора будет находиться на этом рисунке правее предельной температуры соответствующей группы.

По энергетической эффективности двухступенчатый цикл (цикл с двумя генераторами и двумя абсорберами) и система, состоящая из ПВТ – ХМ равнозначны. Последняя схема является более предпочтительной, так как при сезонной выработке холода возможно использовать ПВТ в зимнее время для отопления или для других технологических нужд [4], кроме того, для создания системы ПВТ – ХМ можно использовать серийные абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины с минимальными переделками.

Эталоном рассмотренных схем АБХМ является система из обратимых циклов, состоящая из теплового двигателя и холодильной машины, работающая по циклу Карно (рис. 1).

$$\zeta_c = \eta_c \varepsilon_c = \frac{T_h - T_{\text{о.с}}}{T_h} \frac{T_0}{T_{\text{о.с}} - T_0}.$$

Таким образом, разработанные положения по определению границ применения различных схем абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин позволяют с помощью зависимости, построенной по примеру на рис. 1 для конкретных температур внешних источников, выбрать цикл с максимально возможной для АБХМ энергетической эффективностью. Эталоном энергетической эффективности является соответствующий образцовый цикл или система образцовых циклов.

Основные выводы по данному исследованию распространяются на абсорбционные холодильные машины, работающие с любыми растворами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодильные машины: Учеб. / Под ред. Л. С. Тимофеевского. − СПб.: Политехника, 2006. − 944 с.
2. Блиер Б.М., Вургафт А.В. Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 199 с.
3. А.С.1290041 (СССР). Способ получения холода / А.А. Дзино и др. – Опубл. в Б.И., 1987, №6.
4. Дзино А.А. и др. Экспериментальное исследование процессов оттайки дробленых мерзлых песков с использованием низкопотенциального теплоносителя. // В кн. Физические процессы горного производства. Вып. 2 – Л.: ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1975.- С. 87 – 91.

УДК 621.564.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АММИАКА В КАЧЕСТВЕ ХЛАДОАГЕНТА И ОЦЕНКА ПРИ ЭТОМ РИСКОВ

Зацерклянный М.М., к.т.н., Столевич Т.Б., к.т.н.,
Одесский национальный политехнический университет, Украина
Зацерклянный А.М., ст.н.с., Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский институт медицины транспорта, Украина
E-mail: doczam@mail.ru, tbstolevich@ukr.net, doczmm@ukr.net

Среди хладагентов, имеющих прекрасные термодинамические свойства и многочисленные экологические преимущества, особое место занимает аммиак. Он является единственным хладагентом, который не входит в группу галоид углеродов, используемых в настоящее время в больших количествах. Аммиак ядовит, несколько огнеопасен и, при некоторых условиях, является взрывчатым веществом, но из-за превосходных тепловых характеристик это доминирующий хладагент в области производства продуктов. У аммиака наиболее высокая удельная холодопроизводительность.

Он один из немногих, который обладает характерным резким запахом. Однако именно запах и является большим преимуществом, поскольку он позволяет сразу же распознать и устранить небольшие протекания. Другие хладагенты очень опасны по причине отсутствия запаха.

Проведенный нами анализ, основанный на известных случаях, причиной которых стал аммиак, показал, что вероятность высвобождения вещества, который может привести к материальному или физическому вреду, является незначительной. Как это часто бывает, достаточно трудно собрать большое количество данных об утечке аммиака, о несчастных случаях в химической промышленности и сельском хозяйстве, а также о поломке холодильных установок, и та информация, что есть, почти не дает возможности квалифицированно оценить риски[1,2].

Смертельные случаи в результате утечек аммиака известны, однако если вспомнить, сколько их происходит вследствие использования других многочисленных систем, то можно увидеть, что в холодильной отрасли они сравнительно редки[1,2].

При проведении исследований были приняты во внимание только смертельные случаи, связанные с холодильными системами. На основе данных установлено, что годовой уровень смертности составляет менее двух на 10 млрд. человек в год.

Исследование несчастных случаев, связанных с высвобождением аммиака, показали, что не пострадал ни один человек, который был вне так называемой мертвой зоны системы. Лица, получившие повреждения или погибли в результате этого, находились в непосредственной близости от места утечки аммиака и, как правило, работали с системой.

Повреждений можно избежать: для этого стоит лишь надеть защитный костюм, перчатки, защитную маску на лицо и респиратор с фильтром.

Отсутствие надлежащих знаний у большинства людей является причиной негативного отношения к аммиаку. Это незнание, к сожалению, распространено в промышленности, где используются холодильные установки, поскольку 95% работников занимаются другими техническими решениями. Многие учреждения и проектировщики не знакомы с предписаниями по аммиаку и рассматривают его применение как опасную альтернативу. Европейская директива по использованию напорных резервуаров, директива о машинах и установках и соответствующие национальные предписания

различных стран, а также современные стандарты по технике безопасности дают возможность изготавливать и эксплуатировать безопасные и надежные аммиачные системы.

Аммиак порой обозначают как яд. Но согласно научным определениям, вещество является ядовитым, если оно в очень малой дозе может нанести значительный ущерб или привести к гибели живых организмов. Аммиак - это единственный хладагент, который предостерегает своим запахом, к тому же еще задолго до того, как его концентрация станет опасной. Минимальная концентрация, при которой люди воспринимают аммиак, составляет 4-20 ppm. Жизни же человека грозит концентрация от 700 до 1000 ppm в зависимости от продолжительности воздействия.

Нормативная методика прогнозирования последствий химического поражения разработана. На первый взгляд, она достаточно аргументирована, учитывает необходимые причинно-следственные связи. Разлив аммиака рассматривается как "свободный" или "разлив в поддон", если поверхность разлива предварительно обвалована. Далее в зависимости от метеоусловий из таблиц берутся значения глубины зоны распространения аммиачно-воздушного облака с поправками на наличие городской застройки, а также ширины этой зоны, исчисляется площадь зоны возможного химического загрязнения. Вместе с тем считается (выходит из расчетных соотношений), что вся эта зона покрывается облаком аммиачно-воздушной смеси в течение нескольких минут после аварии, а освободится от загрязнения в течение одного часа и более. Эти результаты полностью расходятся с известными показателями скорости формирования аммиачно-воздушного облака, его распространением в атмосфере или на ландшафте, а тем более времени его пребывания на ландшафте[1,2].

Последствиями воздействия химического фактора поражения являются ожоги кожи, глаз, легких, отравление аммиаком и т.п., доля же пострадавших не будет превышать 50% населения. Когда количество населения в зоне загрязнения составляет 10375 человек, то в случае аварии холодильной установки пострадает 519 человек, а структура возможных поражений выглядит по Методике прогнозирования последствий воздействия (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных авариях и транспорте так: легкие поражения (25%) - 130 человек; поражения средней тяжести (40%) - 208 человек; поражения со смертельным исходом (35%) - 181 человек.

Очевидно, что такая методика не дает объективного прогноза, не соответствует современному уровню решения проблемы распространения загрязняющих веществ в атмосфере или на ландшафтах, расходится с общепринятой методикой вероятности аварийных ситуаций и их последствий.

Решение задач моделирования процесса распространения аммиачно-воздушного облака в атмосфере в различных ее состояниях, оценка на этой основе вероятности тех или иных концентраций по расстояниям и высотам конкретных ландшафтов является частью более широкой проблемы разработки научно обоснованных методик создания и практического использования декларации безопасности новых и действующих аммиачных охлаждающих систем.

Аммиак можно классифицировать и как взрывоопасный. В количественном отношении взрыв возможен в случае распространения пламени на скорости нескольких метров в секунду. Сгорая, аммиак выделяет незначительное количество энергии, в несколько раз меньше, чем углеводороды. Согласно ISO817, скорость распространения пламени от горящего аммиака также невелика - 8 см/с. Газ самовоспламеняется при температуре выше 651°C, в соответствии с ISO817 и ASHRAE 34, он относится к группе B2 (трудно воспламеняющийся). Диапазон воспламеняемости составляет в среднем от 15 до 28% и, в зависимости от методов тестирования, доходит до 33%. Аммиак может гореть только в закрытых помещениях. На открытой территории это может произойти лишь при очень благоприятных условиях. Поэтому в случае применения под открытым небом аммиак классифицируется как негорючий.

Для того, чтобы аммиак загорелся, необходим источник возгорания с минимальной энергией в 680 МДж. По сравнению с другими горючими субстанциями этот показатель достаточно существенный. Минимальная энергия воспламенения метана, этана и пропана составляет 0,21 - 0,26 МДж, а для газообразного водорода достаточно 0,02 МДж.

Запах аммиака скрыть нельзя, и средства массовой информации непременно донесут такие случаи до широкой общественности. Но в случаях масштабных выбросов расстояние, на котором запах аммиака могут воспринимать органы чувств при неблагоприятных погодных условиях и холодном климате, составляет несколько километров.

Возникновение и дальнейшее развитие аварийной ситуации во время работы холодильной установки могут быть следствием ослабления внимания оператора-машиниста к выполнению своих обязанностей (человеческий фактор), а также случайные факторы, связанные с надежностью работы приборов защитной автоматики, наличием термомеханических, коррозионных повреждений в трубопроводах, корпусах оборудования, случайным прекращением электроснабжения отдельных

элементов установки: водяных насосов, градирен, приборов защитной автоматики или их поломки. Ослабление внимания обслуживающего персонала может возникнуть не только за счет проявления халатного отношения к работе.

Возникновение аварийной ситуации во время работы аммиачной холодильной установки можно считать отклонением от номинальных количественных значений ряда параметров (температуры, давления, расхода аммиака, воды, масла), характеризующие ее номинальную работу.

Замечательные свойства аммиака как холодильного агента, благодаря чему его часто используют в больших промышленных установках, порождают уверенность в его применении в будущем. В некоторых случаях хорошей альтернативой аммиаку может стать диоксид углерода, поскольку с точки зрения безопасности с ним проще работать.

Следовательно, статистические данные по смертельным случаям, вызванным высвобождением аммиака, можно использовать для того, чтобы оценить количество случаев, когда ущерб не причинен. Эти данные необходимо использовать при оценке степени риска аммиачных холодильных систем.

В отношении всех промышленных систем можно сделать следующие выводы:

- ни одна техническая установка не может быть полностью безопасной;
- ни один технологический процесс не может быть безопасным;
- никто не может абсолютно правильно и безошибочно действовать во всех ситуациях.

Если в ходе сооружения и эксплуатации аммиачных установок были соблюдены все предписания и стандарты, а оператор должным образом учитывает возможную опасность или риски, то можно констатировать, что аммиак как хладагент безопасен для окружающей среды и здоровья человека; он является эффективным рабочим телом холодильных установок. Последнее выгодно отличает его среди других вариантов, которые могут заинтересовать потенциального пользователя.

Функционирование холодильников и охладительных систем с большой вместимостью хладагента требует повышенного внимания к эксплуатации таких объектов. Сегодня на этих объектах происходит постоянное обучение обслуживающего персонала "Правил безопасной эксплуатации ...", разработка "Плана ликвидации аварийных ситуаций" для каждого предприятия, периодическое обучение персонала в соответствии с "Планом ликвидации аварийных ситуаций" и много чего еще. Но этого слишком мало, необходимо постепенно совершенствовать охладительные системы, чтобы уменьшить влияние человеческого фактора как наиболее ненадежного. Поэтому рассмотренные некоторые научно-технические проблемы, противоречия различных методик и нормативных документов потребуют дальнейшего исследования и решения[3].

В нашей работе не проанализированы многие другие аспекты безопасности аммиачных охлаждающих систем, в частности относительно механизмов горения смесей на основе аммиака, действия других факторов поражения в случае возникновения аварий.

Очень важно детально проанализировать случай, когда аммиакоемкостьсистемы меньше 50 кг. Здесь внимание необходимо сосредоточить на обеспечении надежной поддержки режимных параметров процессов холодильного обработки и хранения пищевого сырья и продуктов, решении связанных с этим проблем продовольственной безопасности. Поскольку даже если авария не вызовет тяжелых последствий, связанных с потерей здоровья людей, потери пищевого сырья и продуктов неизбежны. Не в меньшей степени эти проблемы актуальны для предприятий с масштабным промышленным производством холода, которые используют хладагент отличный от аммиака.

Таким образом, техногенную, продовольственную и технологическую безопасность должно обеспечить решение ряда общих научно-технических задач.

Научно обоснованные, прозрачные методики декларирования безопасности холодильных систем, холодильников для хранения пищевого сырья и продуктов надо практически использовать как минимум в трех случаях: на стадии проектирования; на стадии запуска в эксплуатацию новой холодильной системы (с новыми техническими решениями, с конкретным перечнем использованных при строительстве и монтаже материалов, оборудования, приборов); при периодической экспертизе действующих систем, которые являются старыми и потенциально опасными объектами. В определенной степени содержание таких методик должно быть известно обществу, вызвать у него доверие, а не ощущение псевдокомпетентной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебн. пособ. в 6-ти кн. / под ред. В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. – М.: АСВ, 2001. – 200 с.

2. Беляев, Н.Н., Защита атмосферы от загрязнений при миграции токсических веществ / Н.Н. Беляев, В.М. Лисняк. – Донецк: Инновация, 2006. – 150 с.

3. Заказнов, В.Ф. Распространение аммиака при разгерметизации аммиакопровода, емкостей / В.Ф. Заказнов, Л.А. Куршева // Исследования и разработки по созданию магистральных аммиакопроводов и складов жидкого аммиака: Тр. ГИАН. – М., 1985. - С. 57.

UDC 621.56/.59

IT ARE SCIENTIFIC - THE TECHNOLOGICAL FUNDAMENTALS OF MAKING OF EJECTOR HEAT EXCHANGERS AND APPLICATION IN DIFFERENT SYSTEMS ARE MORE THEIR

Associate prof. Kogut V., Post-graduate student Butovskyi I., PhD, Post-graduate student Bushmanov V., Associate prof. Zhikhareva N., DSc (Engineering) Khmelniuk M.
Odessa national academy of food technologies, Odessa, Ukraine
E-mail: vek56@mail.ru; ariesoon@gmail.com; hmel_m@ukr.net; ZhNata@mail.ru; vvypio@gmail.com

The cost efficiency of the industry us the heat-exchange units depended on qualitative usage of heat exchange and capital investments in these apparatus, also from a running cost.

In technical publications even more often there are a new term "an ejector heat exchanger" in which one construction introducing of the jet device are necessary. Jet devices were prime enough in a construction has worked without a direct expenditure of a mechanical energy.

In a technical publications for are more such than apparatus often used two terms: an ejector (from an armour. ejectio - I deletes) if it usage are intend for removal of a steam (gas) of or a fluid outside from bulk (vessel), and the working jet (flow) of are from the outside; and an injector (from an armour. injicio - I throws in) if a steam the bulk (gas) of or a fluid are push into bulk (vessel) of by means of a working jet out of the same bulk.

In a basis of process of work of these heat exchangers of ejector contact heat exchange between steam and a liquid are assume.

The principle of such heat exchange in the apparatus is carry out on the basis of mixing of steam and a liquid or on the contrary, sometimes there are a change of phase, and in certain cases are not present. Steam and a liquid could be one substance then the further separation it is not required. Steam and a liquid could be from various substances where after heat exchange it is necessary to spend additional separations of a mix.

For components participate in heat exchange from one substance most important phenomena in this process are a frontal resistance of drops, transpiration, friction about walls of the channel and condensation from a main stream. Though these phenomena were manifest simultaneously, nevertheless there is a predominance of each of them on the part of observing process.

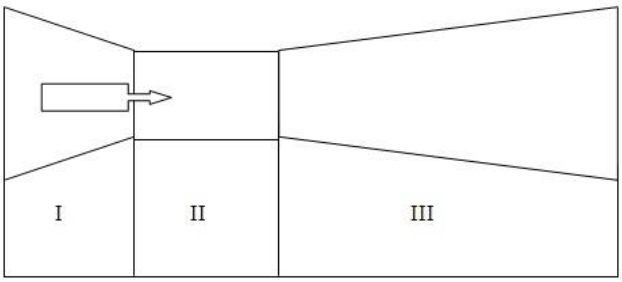


Figure 1 - Distribution of zones on length of the heat exchanger-ejector

Zone I. Accelerations of a gas stream consist of air and steams easily - boil liquids, at the expense of cotraction of the confuser (preparation for contact heat exchange).

Zone II. Active contact heat exchange between a main stream of gas and an inject liquid (instant cooling of gas).

Zone III. A retardation of a stream and condensation of a liquid from a gas mix (air of hot, and a liquid it are considerably overcool)

The estimation of each factor is necessary for qualitative analysis of process pass in the apparatus.

To the basic signs it is possible to spend classification the heat exchangers ejectors. It are conditionally possible to observe three systems in whom heat exchanger- ejector (clos, half-open and open) on the relation with a circumambient.

Classification of application of heat exchangers-ejector in different systems

The systems us ejector heat exchangers, it are possible to classify on traffic of the basic and auxiliary streams, and high-speed characteristics in relation to a sound velocity.

Table 1 - Classification of the systems work on the basis of heat exchangers-ejector

Systems	Industrial title of the apparatus	Processes in a confusor Speedup of a main stream	Processes in the mixing chamber or evaporations	Processes in a diffuser Inhibition to initial velocity or smaller	Processesin a sprayjet
Shutsystems	Termopressor - anintercooler	Speedup of a main stream (steams of ammonia)	The instantaneous heat exchange from merging and evaporation of ammonia	Inhibition of a main stream (steams of ammonia)	Shallowly - dispersible raspyl (luquid ammonia)
	End coolant - a refrigerator set	Speedup of a main stream (steams of ammonia)	The instantaneous heat exchange from merging and evaporation of ammonia	Inhibition of a main stream (steams of ammonia)	Shallowly - dispersible raspyl (luquid ammonia)
Semiopensystems	Thethermocapacitor - a hydrocarbon	Speedup of a main stream (air mixture with steams of a hydrocarbon)	The instantaneous heat exchange from merging and evaporation of nitrogen or Carboneidioxydum and condensation of a hydrocarbon	Inhibition of a main stream (air mixture and pool hydrocarbon)	Shallowly - dispersible raspyl (liquid nitrogen or Carboneidioxydum)
	Ejector - the screen of flue gases	Speedup of a main stream (air mixture with flue gases)	The instantaneous heat exchange from merging and evaporation of nitrogen or Carboneidioxydum and condensation of builders of flue gases	Inhibition of a main stream (air mixture with the condensed flue gases)	Shallowly - dispersible raspyl (liquid nitrogen or Carboneidioxydum)
Opensystems	Ejector - the air humidifier in a heat-treatment chamber	Speedup of the main cooled air flow	The instantaneous heat exchange from merging and an evaporation of water humi-dification of air	Inhibition of a main stream of a humidified air	Shallowly - dispersible raspyl Cooling water
	Ejector - snow - thegenerator	Speedup of the main cooled air flow	The instantaneous heat exchange from merging and a solidification of water and formation of snow	Inhibition of a main stream of air and snow	Shallowly - dispersible raspyl Cooling water
	Ejector - an air cooler in a band of a bench	Speedup of a main stream of air	The instantaneous heat exchange from merging and an evaporation of water	Inhibition of a main stream of air	Shallowly - dispersible raspyl Cooling water
	Ejectorwater-coolingtower	Speedup of a main stream of air	The instantaneous heat exchange from air and refrigeration of water	Inhibition of a main stream of air and compartment of cooling water	Shallowly - dispersible raspyl of water

Classification on driving of the main and auxiliary flows and speed regulation characteristics in relation to a speed of sound

It is possible to classify systems us ejectors heat interchangers on to phase change main and auxiliary flows.

Table 2 - Classification on driving of the main and auxiliary flows

Coolantsystems (heatexchange)	Flow rate in ChisloMakhaMayevskogo mixing chamber	Drivingof a mainstream	Driving of an auxiliary flow
Termopressor - anintercooler	M=0.3	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
End coolant - a refrigerator set	M=0.3	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
Thethermocapacitor - a hydrocarbon	M=0.3	Ejectorheatinterchanger (condensation)	sprayjet
Ejector - the screen of flue gases	M=0.3	Ejectorheatinterchanger (condensation)	sprayjet
Ejector - the air humidifier in a heat-treatment chamber	M = (0.1-0.3)	Ejector heat interchanger (refrigeration and humidification)	sprayjet
Ejector - snow - thegenerator	M = (0.1-0.3)	Ejector heat interchanger (refrigeration and snegoobrazovaniye)	sprayjet
Ejector - an air cooler in a band of a bench	M = (0.1-0.3)	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
Ejectorwater-coolingtower	M = lessthan 0.1	Sprayjet (refrigeration)	Ejectorheatinterchanger

Classification on to phase change in ejectore heat interchangere main and auxiliary flows.

In engineering calculations the dependences gain as a result of experimental data and blind carrying over on various aspects of apparatuses, did not lead to optimum maintenance and hid reserves of the g device. An important problem in calculations is correctly to define traffic of the main and auxiliary stream.

The design procedure of the ejector-heat exchanger was bas on the equations of thermal balance. Important parameters for calculation of the ejector-heat exchanger are the volume maintenance of steams of substance in a mix, ambient temperature and working substance (the chill hydrocarbons; carbonic acid; inert gas nitrogen, aspect of a liquid).

At the heart of constructive calculation of the ejector-heat exchanger definition of diameters of the apparatus, lengths of zones and angles of inclinations of the confuser and the diffusor lay. Optimum angles of inclinations of elements of ejector experimentally:

The confuser – 45C°; the Diffusor - 10÷12 C°;

Diameter of the chamber of transpiration-Dchamber = $D_e/2$;

where D_{ej}-diameter of ejector (paid off dependences on speed of a stream of 20-25 km/s and productivity. For maintenance of speed of a stream M=0.1-0.3 in the chamber of transpiration.

Depth of the room of transpiration - $L = 2 \div 4D_{chamber}$

Optimum size for good mixing of streams and instant heat exchange.

Length of the diffusor - $L = 7 \div 9\ D_{chamber}$

Optimum size for a retardation of a stream and fall

The injector could be any design, provide necessary productivity and support speed of a plume 50 - 100M/with.

Table 3 - Classification of flows by change of phase

Coolantsystems (heatexchange)	Phasechangemainstream	Phasechangeauxiliaryflow
Termopressor - anintercooler	Withoutphasechange	Fluidsteam
End coolant - a refrigerator set	Withoutphasechange	Fluidsteam
Thethermocapacitor - a hydrocarbon	Steamfluid	Fluidsteam
Ejector - the screen of flue gases	Par-zhidkost-tverdoyeveshchestvo	Fluidsteam

Ejector - the air humidifier in a heat-treatment chamber	Withoutphasechange	Withoutphasechange
Ejector - snow - thegenerator	Fluid - solidmatter	Withoutphasechange
Ejector - an air cooler in a band of a bench	Withoutphasechange	Fluidsteam
Ejectorwater-coolingtower	Withoutphasechange	Withoutphasechange

Classification on transiting in ejectore exchanger main and auxiliary flows

For problem solving of projection of ejectors of heat interchangers indispensably:

— formalization of the task and algorithm elaboration of control by calorific effectiveness of a heat interchanger of an ejector;

— development of phonological and mathematical models of a heat interchanger of an ejector also are more their identification with plants controls;

— assaying of calorific effectiveness of heat interchangers of an ejector, development and implementation of optimal alternatives.

There is still in some systems an application of an ejector of a heat interchanger, but in these classification devices in whom the author of a paper accepting involvements in development was display.

Table 4 - Classification of streams by transiting to ejector heat exchanger

Coolantsystems (heatexchange)	Drivingof a mainstream	Driving of an auxiliary flow
Termopressor - anintercooler	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
End coolant - a refrigerator set	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
Thethermocapacitor - a hydrocarbon	Ejectorheatinterchanger (condensation)	sprayjet
Ejector - the screen of flue gases	Ejectorheatinterchanger (condensation)	sprayjet
Ejector - the air humidifier in a heat-treatment chamber	Ejector heat interchanger (refrigeration and humidification)	sprayjet
Ejector - snow - thegenerator	Ejector heat interchanger (refrigeration and snegoobrazovaniye)	sprayjet
Ejector - an air cooler in a band of a bench	Ejectorheatinterchanger (refrigeration)	sprayjet
Ejectorwater-coolingtower	Sprayjet (refrigeration)	Ejectorheatinterchanger

Ejectors in the capacity of jet devices had f wide application in various industries - chemical, ecological, and also in refrigerating industry. Heat exchangers ejectors possessed a simple construction and high reliability. Ejectors worked without escapes, interferences, done not need inspection and possessed in this connection high manufacturing security.

Usage of an ejector of a heat exchanger are capable to solve the task of the industry on remainance of a hydrocarbon at storage, and specially in transit of oil products, and as at a flood from a capacity in a capacity. The ejector a heat interchanger by means of mixture of oblate cooled air and finely divided water droplets surfaced half carcasses. Padding concern called formation of finely divided ice at interplay of mixture of a compressed air and water droplets when escaping a diffuser - an ejector of a heat exchanger, with air of the low temperature, circulate in a cold storage room. Receivable finely divided crystal ice could find the application in a broad spectrum of tasks. The heat interchanger ejector could be applying to a refrigeration of meat stock heaps.

Application of systems with the screen on the basis of an ejector of a heat exchanger allowed leading scrubbing action of flue gases, almost completely to save a flow of flue gases, from pollutants of bunch of carcinogenic agents. Such necessity originated in view of passage to low-quality combustibles, and high percent of ejections at the moment of unstable states of operation of boiler plants.

In the modern industry it is necessary to bolster comfortable air temperature on a work place. There were many various methods of keeping up of air temperature (a positive-pressure ventilation, conditioning and refrigeration). However all these methods were feebly effective on work places with a heat. It is necessary to apply zonal refrigeration of air of a band in which one the worker is. In the core the directional air flow, blast a work place.

The solution of this problem is possible with application of installation with an ejector - a heat interchanger. Refrigeration of air are carried out at the expense of injection of finely divided water droplets in the distill air flow in an ejector - a heat exchanger.

REFERENCES

1. Kogut V., Butovsky I., Nosenko N. Projection of the thermocapacitor ejector //A refrigerating engineering and technique, №6 (146) - Odessa - 2013г.
2. Ventilating, conditioning and air filtration on food industry enterprises// M. ACB, 2001.
3. Krupnov B., Sharafadinov N. Guiding on projection of a heating services, ventilatings and air conditionings //Moscow-Vienna. - 2006.
4. Ananyev V., Sedykh I. The cooling equipment for the modern central air conditioners //M.: "Euroclimate", Publishing house of Open Company "Diksis Trading", 2001.
5. James E. BrumbaughHVAC Fundamentals Volume 1. //Willey Publishing Inc., Indianapolis, Indiana. - 2004.
6. Butakov S. Fundamentals of ventilating of hot shops //Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1962.
7. Bogoslovsky V., KokorinI., Petrov L. Conditioningair and holodosnabzheniye //M.: Stroyizdat, 1985.

УДК 625.12

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЦЕНТРАЛЬНОГО УЧАСТКА БАМ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЦЕОСАДКОЗАЩИТНЫХ НАВЕСОВ

Кондратьев В.Г., д.г.-м.н., Москва, Российская Федерация,
Валиев Н.А., г. Новая Чара, Российская Федерация,
E-mail: v_kondratiev@mail.ru, novruz_valiev@mail.ru

Центральный участок БАМ Наледный – Хани обслуживается Новочарской дистанцией пути Восточно-Сибирской железной дороги. Пересекает с запада на восток Чарскую котловину и хребты Кодар (тоннелем длиной 1,98 км) и Удокан. Повсеместно развиты многолетнемерзлые породы (ММП), нередко содержащие сегрегационный, инъекционный, погребенный и полигонально-жильный лед. Талики приурочены к руслам рек и днищам глубоких озер, а также местам разгрузки подземных вод глубокой циркуляции.

Эксплуатационная (экспл.) длина ж.д. пути составляет 217,886 км, земляного полотна – 210,352 км. По данным на 01.01.2016 г. на участке имеется 140 мест с конструктивными дефектами протяженностью 4,77 км (2,27% от экспл. длины участка) и 142 мест с деформациями земляного полотна (ДЗП) протяженностью 57,38 км (27,28% от экспл. длины участка).

Конструктивные дефекты земляного полотна с нарушениями крутизны откосов 7 мест - 0,27 км (5,66% от дефектов), ширины по верху 133 мест - 4,50 км (94,34% от дефектов). Для восстановления очертаний земляного полотна требуемый объем досыпки скального грунта – 28667 м³, в т.ч. в местах с нарушениями, крутизны откосов 1650 м³ (5,76% от дефектов), ширины по верху 27017 м³ (94,24% от дефектов). Дефекты с нарушениями ширины по верху развиты в выемках 12 шт - 0,364 км (8,09% от зауженных обочин) и на насыпях 121 шт – 4,136 км (91,91% от зауженных обочин). Всего с дефектами и деформациями 282 места протяженностью 62,15 км (29,55% от экспл. длины участка), в т.ч. осадки 123 места - 46,66 км (22,18% от экспл. длины участка, 75,08% от дефектов и деформаций, 81,32% от деформаций земляного полотна).

За период с 2005 по 2015 гг. количество больных мест увеличилось в 1,42 раза, суммарная протяженность – в 2,11 раза. Деформативность земляного полотна возросла в основном вследствие деградации многолетнемерзлых пород в его основании. Так, если на 1.01.2005 г. было 80 таких мест общей протяженностью 16,14 км, то на 01.01.2016 г. насчитывалось уже 123 места общей протяженностью 46,66 км (81,32% от всего количества ДЗП). За 11 лет количество таких больных мест земляного полотна увеличилось в 1,54 раза, а их протяженность – в 2,89 раз.

Установленная скорость движения поездов в пределах Новочарской дистанции пути ВСЖД – 60-100 км/час. Однако на участках деформаций земляного полотна с осадками пути скорость движения часто ограничивается до 40 км/час иногда до 25 км/час, что требует применения дополнительных компенсационных мероприятий для обеспечения безопасности движения поездов с установленными скоростями, затраты на которые с каждым годом возрастают. Для обеспечения

безопасности движения поездов с установленными скоростями, наиболее затратными являются осадочные места завышенной крутизной откосов и с зауженными обочинами.

Для стабилизации деформирующихся участков земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах необходимо, прежде всего, прекратить дальнейшее развитие их деградации в основании земляного полотна и на прилегающей территории. Поэтому с 2009 г. на Новочарской дистанции пути ВСЖД проводятся опытно-экспериментальные работы по охлаждению земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах, в частности, с помощью солнцеосадкозащитных навесов [1, 3], использование которых на Цинхай-Тибетской железной дороге показало их высокую эффективность [4].

Экспериментальные исследования эффективности солнцеосадкозащитных навесов для стабилизации земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах проводятся на трех участках: 1841 км, 1835 км и 1685 км.

Экспериментальный участок № 1

В ноябре-декабре 2009 г. на км 1841 ПК1+00 – ПК1+51,25 был установлен охлаждающий навес из шпал лиственничных пород негодных для укладки в путь над кюветом и обочиной с нагорной стороны 1–го пути с целью поднятия кровли многолетней мерзлоты и уменьшения фильтрации воды под земляное полотно. Размеры навеса 51,25 х 2,75, площадь – 140,94 м^2.

При установке навеса сезонно-талый слой (СТС) был больше 3,5 м, а через 10 месяцев, 5.10.2010 г. – 1,68 м, т.е. уменьшился в 2,1 раза. На 14.09.2012 г. составил 1,67 м и на 12.09.2015 г – 1,47 м – уменьшился в 2,38 раз (рис. 1).

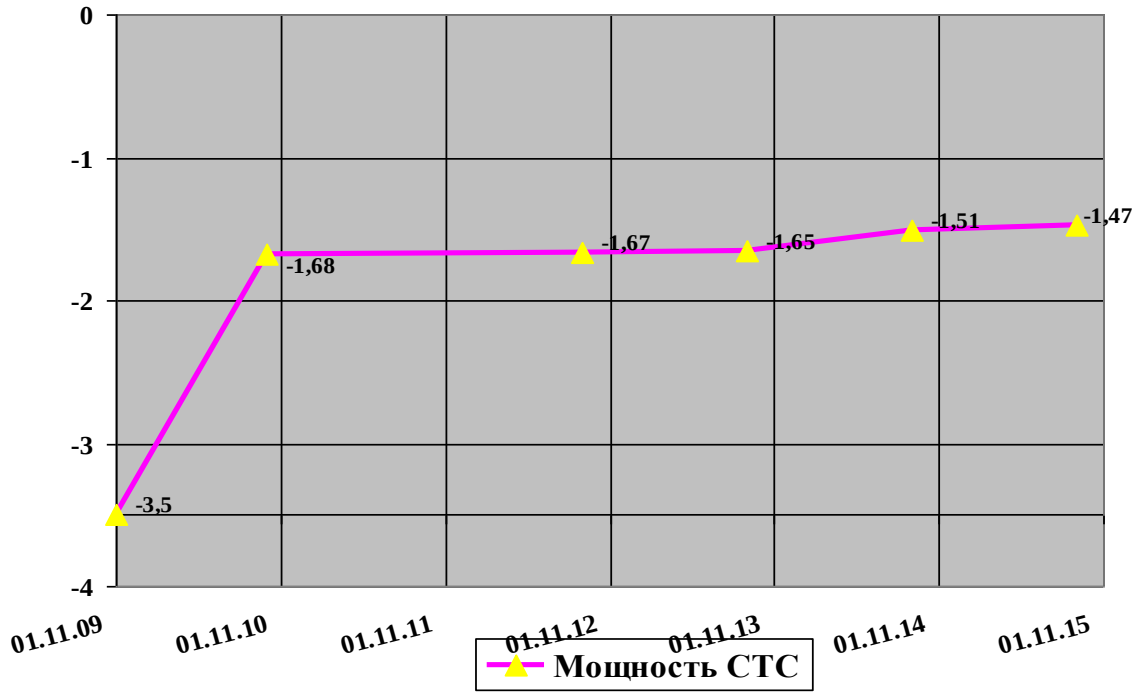


Рисунок 1 - Динамика снижения мощности СТС (м) по Скв. №1 км1841 ПК1+10 слева, под навесом в 2009 - 2015 гг.

Улучшилась стабильность пути: если до установки навеса ежегодно выправкой 1-го пути на участке 1841 км ПК2 занимались 4 и более раз в год, суммарно 250 мм и более, то в 2010 г. – всего 1 раз (до 80 мм). Проведенный же ранее капитальный ремонт 1 пути в 2008 г. и средний ремонт 2-го пути в 2009 г. положительного эффекта не дали. Затраты на сооружение навеса составили 11511,59 руб. Скальная наброска горной массой без заполнителя, в объеме 300 м^3, сметной стоимостью 263976,80 руб. в ценах 2008 г., широко применяемая на БАМе для стабилизации земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах и не всегда дающая ожидаемый результат, стоила бы здесь в 23 раза дороже.

На экспериментальном участке № 1 на км 1841 ПК2, с чётной стороны 2 пути, с февраля 2011 г. по июнь 2012 г. устроен солнцеосадкозащитный навес конструкции ПД зем - 27 «охлаждающая обочина-откос-берма» из шпал лиственничных пород негодных для укладки в путь (рис. 2, 3). Это было вызвано тем, что вследствие многократных подъемок пути на балласт обочина 2 пути на ПК1+10 – ПК1+60 исчезла (по нормативу должна быть не менее 50 см), поэтому вначале пришлось

восстановить обочину шириной 75 см с использованием негодных шпал (лиственничных пород). Затем приступили к сооружению навеса, приподнятого над бермой и откосом насыпи на 1,2 м, над обочиной – на 0,5 м и над подошвой балластной призмы – на 0,25 м. Кровля навеса покрыта слоем недренирующего грунта толщиной до 10 см, для отвода воды и обеспечения противопожарной безопасности, площадь навеса – 475 м^2.

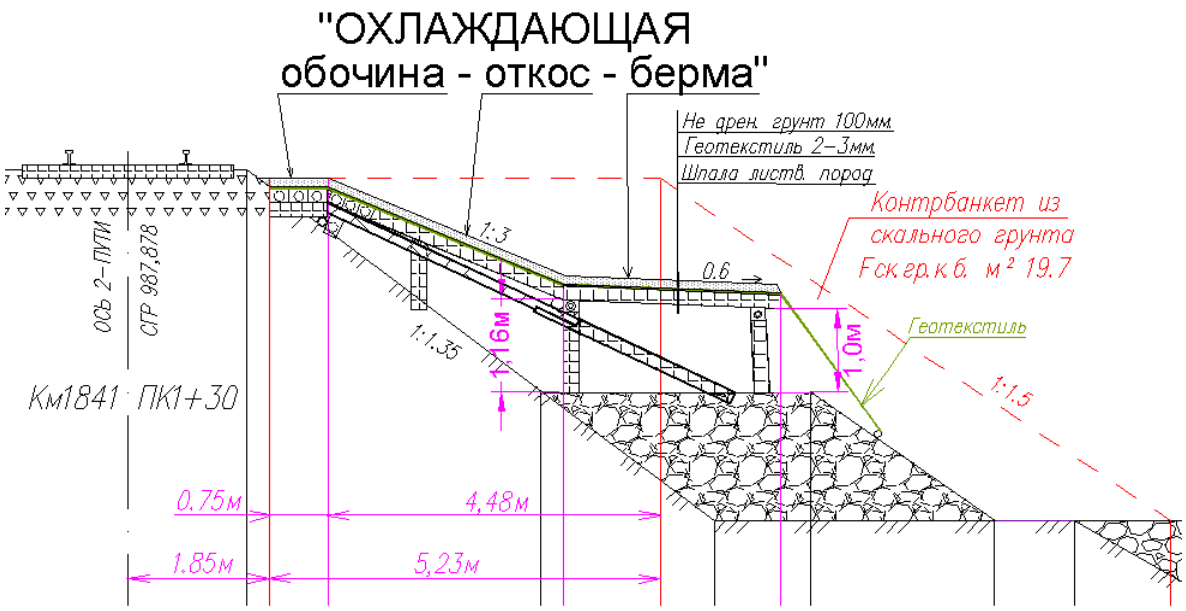


Рисунок 2 - Поперечный профиль охлаждающей обочина-откос-бермы, км 1841 ПК1+30 справа

«Охлаждающая обочина-откос-берма» устроена таким образом, что вся конструкция работает на устойчивость обочины, при завышенной крутизне откоса (1:1,35) земляного полотна.

Затраты на сооружение навеса площадью 475 м^2 – 72177,77 руб., что в 20,02 раза меньше, чем контрбанкет из скального грунта в объеме 1597 м^3, стоимостью - 1444644,00 руб. (в ценах на 1 марта 2009 г., без НДС) предложенный институтом «Иркутскжелдорпроект».

Рисунок 3 - Охлаждающая обочина-откос-берма км 1841 ПК2 справа, июль 2012 г. (вид по ходу километров).

Эта охлаждающая конструкция навеса оказалась весьма эффективной: осадка обочины за период с 16.10.2008 г. по 26.10.2010 г. составляла 186 мм; за период с 26.10.2010 г. по 22.10.2012 г. (строительство навеса еще не было завершено, но проводились работы по очистке снега с обочины, откоса и подошвы насыпи) уменьшилась до 21 мм; за период с 22.10.2012 г. по 14.05.2013 г. (после завершения строительства навеса) до 3 мм; и за период с 14.05.2013 г. по 15.05.2014 г. до 2 мм (рис.4).

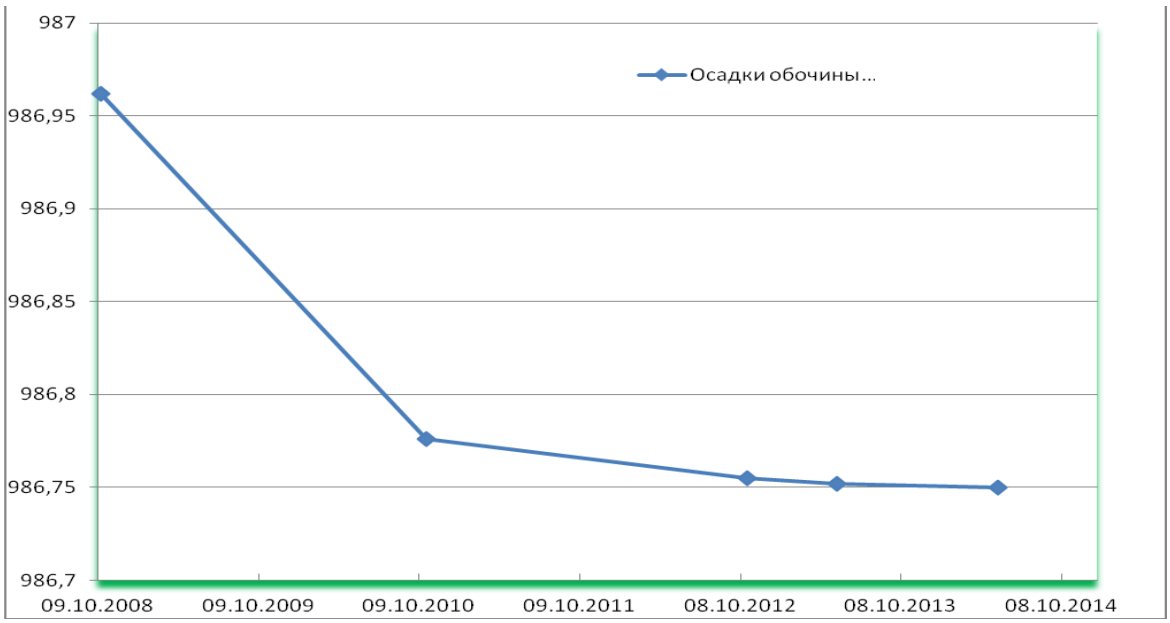


Рисунок 4 - Уменьшение осадки обочины земляного полотна на км 1841 ПК1+17 справа, в 2008-2014 гг.

Навесы на экспериментальном участке № 1 км 1841 ПК2 слева и справа периодически перестраивались и расширялись:

- в октябре 2013 г. справа от 2 пути площадь охлаждающей обочина-откос-бермы расширили до 593 м^2 (рис. 5);

Рисунок 5 - Охлаждающая обочина-откос-берма км 1841 ПК 2 справа от 2-пути, июнь 2015 г. (вид против хода километров)

- с октября 2012 г. по апрель 2014 г. слева на 1841 км ПК 2, вместо охлаждающего навеса площадью 141 м^2 устроили солнцеосадкозащитный комплекс общей площадью 415 м^2 в т.ч. на участке ПК 1+00 – ПК 1+41 солнцеосадкозащитный навес над обочиной кюветом и закюветной полкой, площадью 302,25 м^2, с досыпкой кровли недренирующим грунтом, для отвода воды и обеспечения противопожарной безопасности; на участке ПК1+41 – ПК1+63,25 охлаждающий навес над обочиной, кюветом и закюветной полкой – 98,25 м^2 и затенением из геотекстиля – 15,50 м^2 (рис. 6).

Рисунок 6 - Солнцеосадкозащитный комплекс км 1841 ПК2 слева от 1 пути, июнь 2015 г. (вид против хода километров)

На рис. 7 показана динамика промерзания и оттаивания сезонно-талых грунтов по данным термозамеров в 2012-2015 гг. Отчетливо видно, что мощность СТС под навесом уменьшилась с 1,67 м в 2012 г. до 1,51 м в 2014 г. и до 1,47 м в 2015 г. Сократилось и время его промерзания.

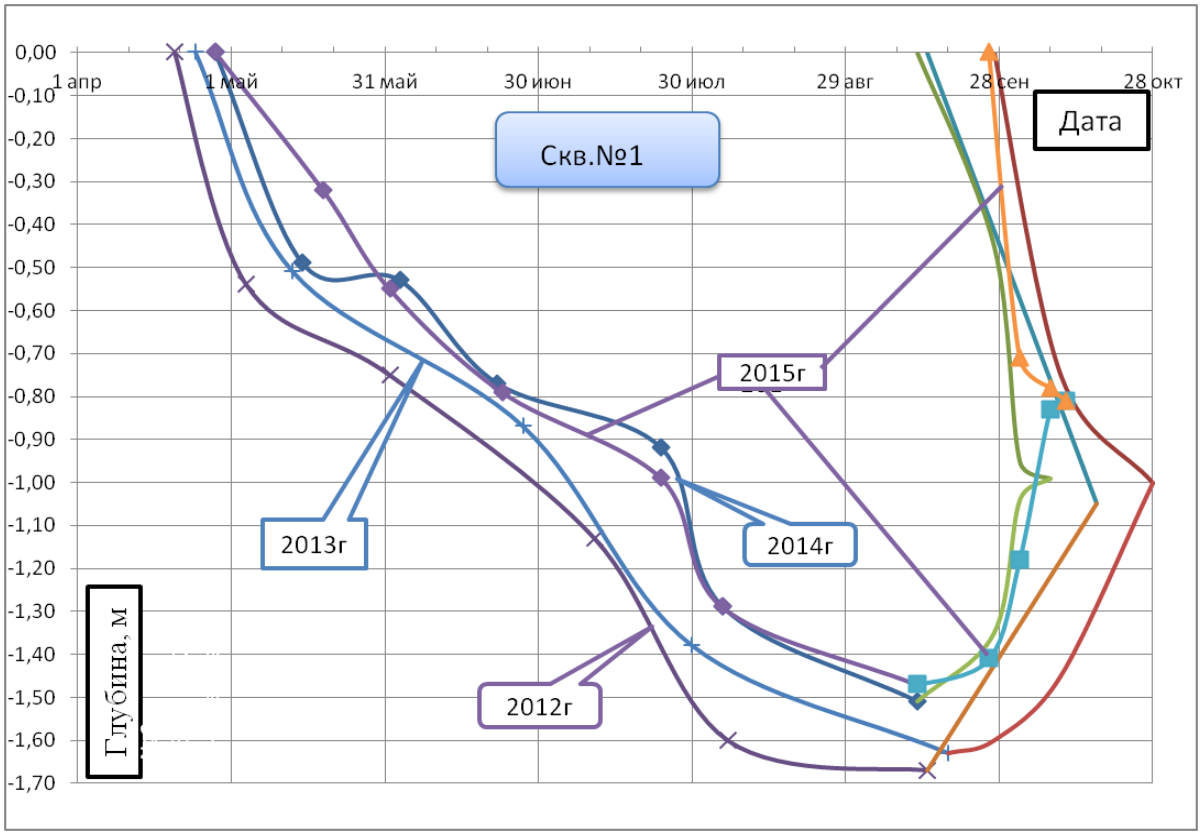


Рисунок 7 - Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов под навесом в 2012-2015 г. по термоизмерениям в Скв. № 1 км 1841

Экспериментальный участок № 2

В марте-сентябре 2010 г. на участке км 1835 ПК6+90 – ПК7+36,50 над обочиной, откосом земляного полотна и частью кювет – траншеи построен солнцеосадкозащитный навес из шпал лиственничных пород негодных для укладки в путь. Размеры навеса 2,50 х 2,75 + 41,50 х 5,50 + 2,50 х 2,75, площадь – 242,0 м^2, покрыт слоем недренирующего грунта толщиной до 10 см (рис. 8). Здесь за период с 2005 г. по 23.03.2010 г. скорость движения поездов по результатам прохода вагона-

путеизмерителя (ПС) по 1 и 2 пути ограничивалась до 40 км/час – 6 раз, по 3 раза на каждый путь; выполнялись ремонтные работы с суммарной подъемкой 1 пути – до 515 мм, 2 пути – до 210 мм, на что потребовалось щебня: по 1 пути – 200 м^3, по 2 пути – 90 м^3. Кроме того, на ПК6+60 – ПК7+30 ежегодно с июня 2005 г. по ноябрь 2009 г. дважды в месяц перед каждым проходом вагона ПС выполнялись работы по выправке и рихтовке обоих путей до 20 мм.

Затраты на сооружение навеса составили 35469,43 руб**.** Устройство же кювет-траншеи и нагорной канавы с укреплением дна и откосов скальным грунтом в объеме 499,45 м^3, стоило бы в 28,4 раза дороже.

Рисунок 8 - Солнцеосадкозащитный навес из шпал над обочиной, откосом насыпи и частью кювет - траншеи км 1835, октябрь 2010 г.

После устройства навеса, работы по текущему содержанию пути производились рихтовкой второго пути один раз в 2011г. С тех пор участок стабилен.

Экспериментальный участок № 3

На участке ВСЖД км 1685 ПК1+80 – ПК2+40 длительное время отмечались деформации земляного полотна, с 2009 г. слева по ходу километров стали возникать термокарстовые провалы в пазухе и в водоотводе. В 2009-11 гг. скорость движения поездов по проходу вагона ПС на участке ограничивалась 7 раз до 60 км/час и 1 раз до 25 км/час (напротив термокарстовых провалов на ПК1+87 - ПК2+22,50).

В октябре 2012 г. Новочарская дистанция пути ВСЖД приступила к сооружению солнце-осадкозащитного навеса на 1685 км ПК1+75 – ПК2+49, где в основании земляного полотна отмечены подземные льды и летом 2011 г. возникли опасные термокарстовые провалы непосредственно вблизи железнодорожного пути на ПК1+87 и ПК1+99 (рис. 9).

а)

б)

Рисунок 9 - Термокарстовые провалы у подошвы насыпи на 1685 км:
а) 2011.05.26 ПК1+87, б) 2011.08.17 ПК1+99

В начале, в октябре-ноябре 2012 г., были устроены низкие навесы (мини-навесы – своеобразные термокарстовые «погреба») с продухами высотой 20-70 см из шпал лиственничных пород негодных для укладки в путь непосредственно над 4 термокарстовыми провалами (рис. 10). Общая площадь навесов составила 69,45 м^2. Если провалы засыпать недренирующим грунтом, что безуспешно пытались делать раньше, то потребовалось бы дополнительно не менее 500 м^3 грунта. Для интенсивного охлаждения «погреба» зимой мини-навесы оставались с открытыми торцами и поверхностью, а летом торцы и поверхность мини-навесов закрывались противофильтрационной пленкой и геотекстилем.

а)

б)

Рисунок 10 - Сооружение термокарстовых «погреба» на км 1685 у подошвы насыпи в пазухе: а) ПК1+87, б) ПК1+99

Затем, в течение 2013-14 гг. на 1685 км ПК1+75 – ПК2+49, слева по ходу километров, был устроен основной солнцеосадкозащитный навес площадью 686 м^2 над обочиной, откосом и бермой из шпал лиственничных пород негодных для укладки в путь с засыпкой кровли недренирующим грунтом толщиной до 10 см, к которому в марте 2015 г. был пристроен навес площадью 338 м^2 из геотекстиля белого цвета для затенения водоотводной канавы с 4 термокарстовыми провалами, не закрытыми мини-навесами и прилегающей территории (рис. 11). Суммарная площадь навеса составила 1024 м^2.

Рисунок 11 - Солнцеосадкозащитный навес из шпал над обочиной, откосом насыпи и бермой, ВСЖД, 1685 км, март 2015 г.

С момента строительства навеса за период с 11.10.2012 г. по 03.10.2015 г., за 3 года, температура грунтов на глубине 8 м понизилась на 0,19°С (рис. 12).

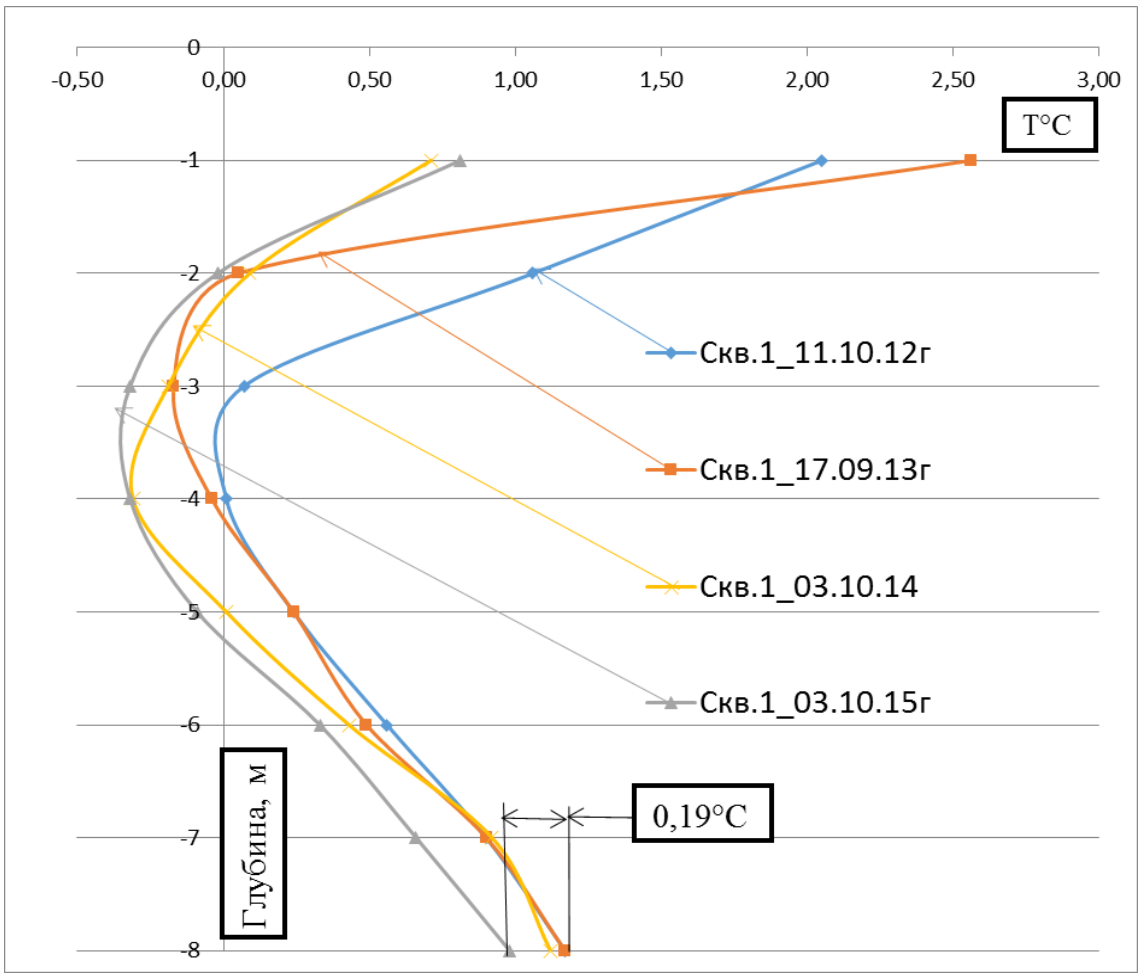


Рисунок 12 - Кривые изменения температур пород в скважине № 1 вне навеса, под навесом и под солнцеосадкозащитным комплексом км 1685

В результате с 2013 г., рост размеров термокарстовых провалов в зоне действия солнцеосадкозащитного комплекса не наблюдается, резких изменений в плане и профиле не выявлены, ограничения скорости движения поездов на участке 1685 км ПК2 – ПК3 не вводились.

Заключение

Исследования, проводимые на Новочарской дистанции пути ВСЖД, как и исследования на Тибете [4], позволяют сделать вывод о том, что солнцеосадкозащитный навес может стать основным противодеформационным устройством для земляного полотна на участках с льдистыми многолетнемерзлыми грунтами, распространенными на 25-30% трассы БАМ, деградация которых вызывает многолетние деформации железнодорожного пути и многочисленные ограничения скорости движения поездов [2]. Под навесом создаются условия для интенсивного зимнего охлаждения земляного полотна и его основания, исключаются инфильтрация летних осадков и прямая солнечная радиация. При сохранении многолетнемерзлого состояния грунтов основания отпадает необходимость в дополнительных противодеформационных мероприятиях, упрощается конструкция насыпи, увеличиваются пропускная способность линии и межремонтные сроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита: Полиграф-Ресурс, 2011.-176 с.

2. Кондратьев В.Г. Инженерно-геокриологический мониторинг линейных сооружений: опыт, состояние, задачи // Инженерные изыскания. - № 10-11. -2013. - С. 96-99.

3. Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И., Позин В.А., Розанов А.С. Железнодорожный путь на сильнольдистых вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение № 1740555, 1992.

4. Feng WJ, Ma W, Sun ZZ, Li GY, Yu WB, Zheng JF, 2011. Radiation effect analysis of the awning measure on the embankment slope field test in cold regions. Proc. IX International Symposium on Permafrost Engineering. 3–7 September 2011, Mirny, Russia. -С. 319–325.

УДК 532.133:536.71

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ СМАЗОЧНОГО МАСЛА ISO 220И ХЛАДОНА R245fa

Лапардин Н.И., к.т.н., Геллер В.З., д.т.н., Одесса, Украина,
Одесская национальная академия пищевых технологий
E-mail: lapardina2004@mail.ru, vladimirgeller11@gmail.com

Хладон R245fa (1,1,1,3,3-пентафторпропан) является озонобезопасным, свободным от хлора холодильным агентом, относящимся к группе гидрофторуглеродов. Этот хладон был разработан как селективный заменитель материалов, основанных на CFC-113 и HCFC-141b, в пенообразующих и аэрозольных растворителях. Он является более слабым во взаимодействии с большинством полимерных материалов, что делает его предпочтительным для применения там, где требуется невоспламеняющийся растворитель с небольшим количеством отходов, нулевым ODP, и низким уровнем токсичности. Перспективен в качестве рабочего вещества в органическом цикле Ренкина, который является частью когенерационных систем и использует вторичные и возобновляемые источники тепла, в том числе геотермальную и солнечную энергию, в пароэжекторных холодильных машинах и т.д. В настоящее время рассматриваются возможности применения R245fa в чиллерах низкого давления.

Перспективы применения новых экологически безопасных хладагентов в системах охлаждения с высокими энергетическими показателями связаны с использованием новых смазочных масел. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к холодильным компрессорам и системам, они должны смешиваться и растворяться в альтернативных хладагентах и обладать в смесях с ними достаточной величиной вязкости даже при значительном повышении температуры. Синтетические смазочные масла, в первую очередь полиолэфирные, отвечают этим требованиям и могут быть использованы в различных типах выпускаемых промышленностью компрессоров, а сведения о свойствах смесей смазка-хладагент становятся весьма важными и крайне необходимыми. Этим определяется актуальность проведения исследований термодинамических и транспортных свойств как раздельно масла и хладагента, так и смеси масло-хладагент.

Настоящая работа является продолжением исследований свойств смесей синтетических смазочных масел с хладагентами серии R400 [1-5] и посвящена измерениям парожидкостного равновесия и вязкости смеси смазочного масла ISO 220 с хладоном R245fa. Особое внимание было уделено разработке корреляционных уравнений, основанных на полученных экспериментальных данных, и передающих термическую и концентрационную зависимость давления кипения и вязкости маслохладоновых смесей.

Схемы экспериментальных установок и их подробное описание представлены в более ранних наших работах [6-8].

Экспериментальные данные о фазовом равновесии жидкость-пар смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa были получены с помощью ячейки постоянного объема, размещенной в термостате. Она заправлялась маслом и хладоном в таком количестве, чтобы паровое пространство верхней части ячейки было минимально. По уравнению состояния R245fa, представленному в базе данных REFPROP [9], рассчитывалась масса паров хладона в этом пространстве. Давление определялось при помощи цифрового преобразователя давления. Температура измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления. Валовая концентрация смеси находилась по массе заправленных компонентов.

Вязкость смеси исследована методом капилляра. Истечение потока жидкости через капилляр происходило под действием небольшого перепада давления. В опытах измерялись температура, давление, а также время истечения определенного количества смеси. Погрешность измерений вязкости не превышала ±1.8%.

Плотность смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa измерена с помощью ячейки постоянного объема, изготовленной из сапфира и выдерживающей высокое давление. Объем ячейки был предварительно откалиброван по дистиллированной воде. В ячейку заправлялась заданная масса масла и хладона. Плотность определялась по прямым измерениям уровня жидкости, находящейся внутри ячейки. Предполагая, что в паровой фазе находился только чистый хладон, масса которого менялась с температурой, давлением и уровнем жидкости, концентрация жидкой фазы отличалась от начального валового состава смеси. Учет массы хладона в паровой фазе и изменение концентрации жидкой фазы показал, что для экспериментальных условий влияние указанных факторов пренебрежимо мало.

При измерениях фазового равновесия жидкость-пар исследуемой смеси массив P-T-x данных получен в широком диапазоне температур 223 … 423 К при давлениях от 0,0006 до 2,7МПа и массовой доли масла 0,7 …0,95. Экспериментальные измерения вязкости проведены в области температур от 233 до 393 К, плотности в интервале 223 … 423 К и массовой доли масла от 70% до 100%.

В табл. 1 – 3 приведены результаты экспериментальных измерений давления кипения, вязкости и плотности смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa при различных значениях массовой доли масла $\boldsymbol{x}$ и температуры T.

Таблица 1 – Экспериментальные значения давления кипения смеси смазочного масла ISO220 и хладона R245fa

T, K	Давления кипения P, МПа			
	x=0,7017	*x*=0,8171	*x*=0,8951	*x*=0,9503
223,15	0,0022	0,0018	0,0011	0,0006
243,15	0,0086	0,0070	0,0041	0,0022
263,15	0,0260	0,0212	0,0124	0,0066
283,15	0,0649	0,0528	0,0309	0,0166
303,15	0,1402	0,1140	0,0668	0,0358
323,15	0,2704	0,2200	0,1288	0,0691
343,15	0,4776	0,3886	0,2275	0,1220
363,15	0,7861	0,6395	0,3745	0,2008
383,15	1,2254	0,9969	0,5837	0,3130
403,15	1,8283	1,4874	0,8710	0,4670
423,15	2,6465	2,1531	1,2607	0,6760

Таблица 2 – Экспериментальные значения вязкости смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

T, K	Коэффициент кинематической вязкости $\boldsymbol{\nu}$, 10^{-6} м^2/с				
	x=0,6985	*x*=0,8006	*x*=0,9010	*x*=0,9518	*x*=1,0000
233,15	12735	65988	363881	912011	2268721
253,65	1186	4169	16218	33574	65991
273,15	217,3	602,6	1832	3126	5495
293,15	64,69	147,1	352,4	572,8	894,3
313,15	24,56	51,43	105,2	147,2	*218,8*
333,15	12,27	23,44	43,85	58,61	82,22
353,15	7,244	12,59	21,18	28,38	38,02
374,65	4,074	6,895	11,78	15,10	20,42
393,15	2,888	4,666	7,244	9,333	11,61

Таблица 3 – Экспериментальные значения плотности смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

T, K	Плотность ρ, кг/м^3			
	x=0,7007	*x*=0,7997	*x*=0,9005	*x*=1,0000
233,15	1144	1083	1037	1003
253,15	-	-	-	991,0
289,45	-	-	-	967,5
293,15	1086	1035	994,0	-
313,15	-	-	-	952,6
353,15	1015	-	-	-
393,15	-	-	-	898,0
423,15	897,8	905,2	893,1	879,9

В качестве графической иллюстрации полученных экспериментальных данных на рис. 1 - 3 показаны диаграммы давление кипения—состав, вязкость—температура и плотность—температура. Отметим, что для отображения изобар на диаграмме вязкость—температура, приведенной на рис. 2, использованы результаты исследования давления кипения смеси. Как видно, вязкость исследуемой смеси является сложной функцией трех переменных и зависит от температуры, давления и массового состава смеси.

Корреляционные уравнения

Приведенные ниже корреляционные уравнения получены аппроксимацией наших экспериментальных данных. Они позволяют рассчитать давление кипения вязкость и смеси смазочного масла

ISO 220 и хладона R245fa в указанных выше пределах диапазона температур и интервала массовой концентрации масла.

$$\log P = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{2} a_{ij}\cdot(t/100)^{i}\cdot x^{j} \quad (1),$$

$$\log \nu = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{2} b_{ij}\cdot(t/100)^{i}\cdot x^{j} \quad (2),$$

$$\rho\cdot 10^{-3} = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{2} \tilde{n}_{ij}\cdot(t/100)^{i}\cdot x^{j} \quad (3),$$

где: P– давление кипения в MPa; t – температура в °C, x – массовая доля масла, ν – коэффициент кинематической вязкости, 10^{-6} м^2/с; ρ – плотность в кг/м^3;a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} – коэффициенты.

Таблица 4 – Коэффициенты уравнений (1)–(3) для смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

Коэффициенты a_{ij}				
j \i	0	1	2	3
0	-7,73207	2,17768	-1,21693	0,382511
1	17,4745	-0,329630	0,753666	-0,360215
2	-12,0086	0,175431	-0,407497	0,195443
Коэффициенты b_{ij}				
j \i	0	1	2	3
0	-0,231801	-1,02981	0,529602	-0,141199
1	2,99715	-1,73634	1,71135	-0,829069
2	0,984652	-2,04016	1,39277	-0,281895
Коэффициенты c_{ij}				
j \i	0	1	2	3
0	1,84610	-0,353241	-0,101593	-0,141444
1	-1,49454	0,535456	0,206087	0,290850
2	0,626312	-0,246249	-0,107151	-0,148503

Расхождения между полученными экспериментальными данными о давлении кипения смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa, вязкости, а также ее плотности, и рассчитанными по уравнениям (1)–(3) величинами показаны на рис. 4 - 6.

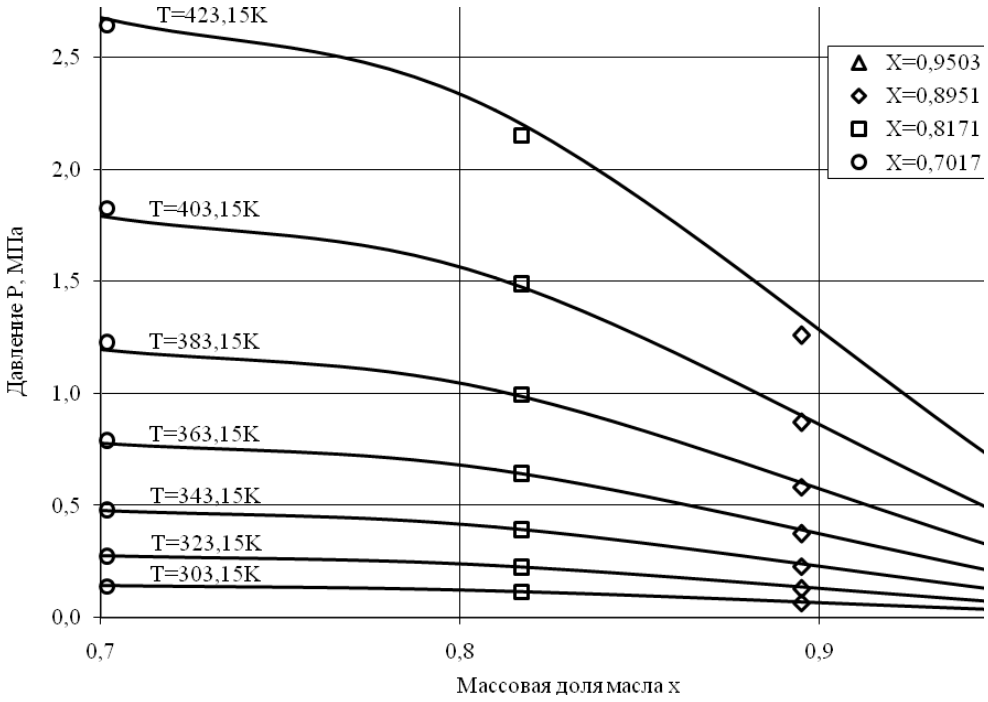


Рисунок 1 – Диаграмма давление кипения-состав смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

Проведены экспериментальные измерения давления кипения, вязкости и плотности смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa, соответственно, в диапазоне параметров: температура от 223 до 423 К при давлении до 2,7 МПа и массовой доли масла 0,7 …0,95; 233 … 393 К и 223 … 423 К при массовой доли масла от 0,7 до 1,0.

Предложены корреляционные уравнения, которые с достаточной точностью описывают давление кипения, вязкость и плотность в указанном диапазоне температур и состава смеси. Аппроксимация уравнением (1) данных по давлению кипения смеси проведена со среднеквадратичной погрешностью 2,0% при максимальном отклонении 3,8%. Зависимость коэффициента кинематической вязкости смеси описана уравнением (2) со среднеквадратичным отклонением 3,8%, а максимальная погрешность составила 6,3%. Температурная и концентрационная зависимость плотности описана уравнением (3) с отклонениями в коридоре ±0,1% и максимальной погрешностью 0,3% при наибольшей температуре 423 К.

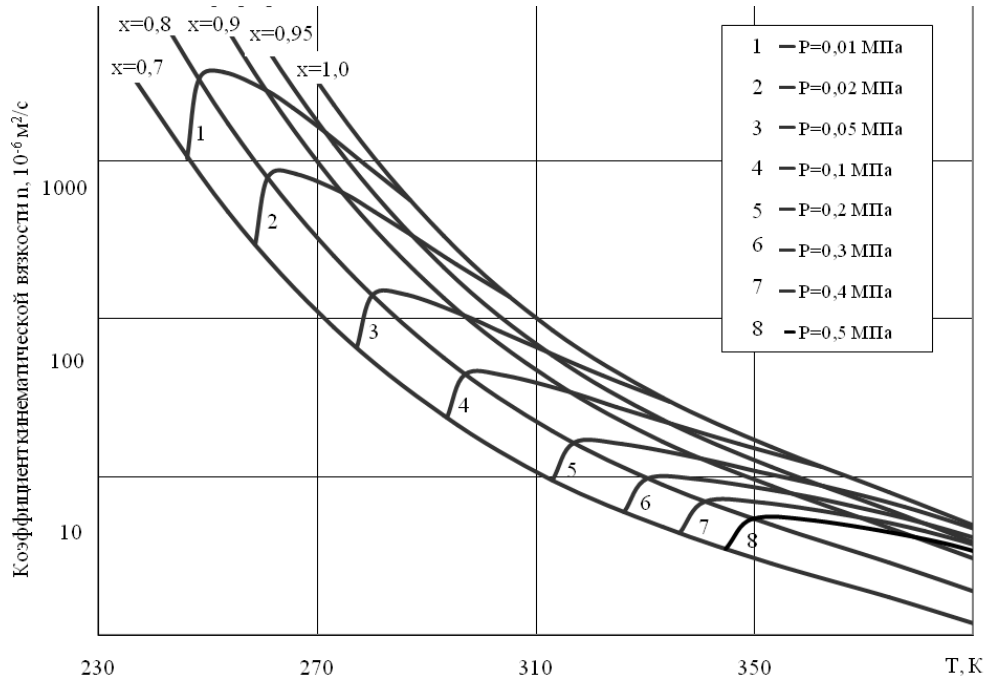


Рисунок 2 – Вязкость смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

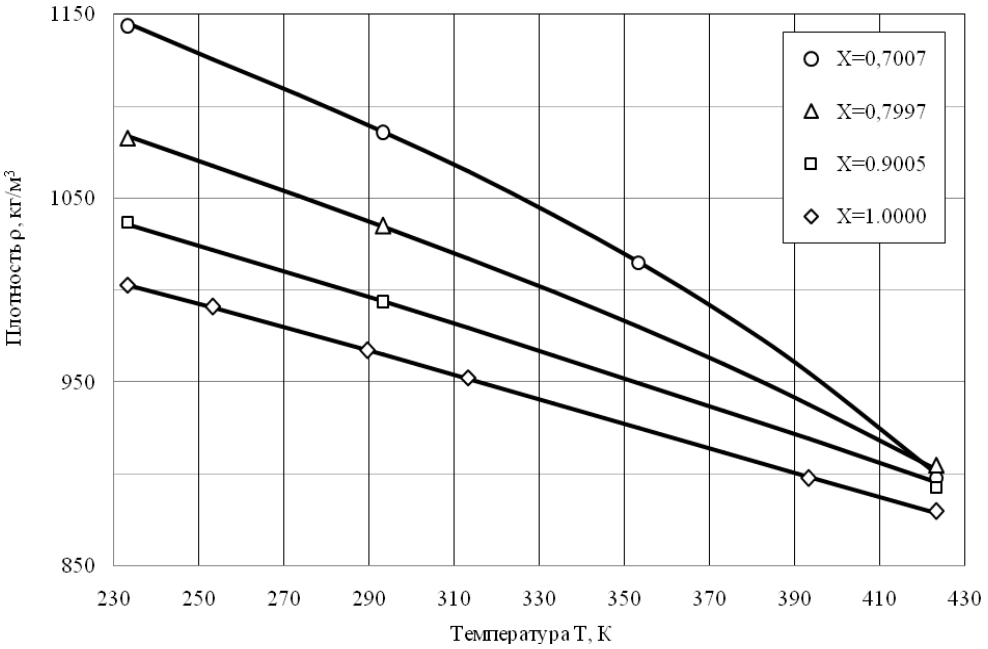


Рисунок 3 – Плотность смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

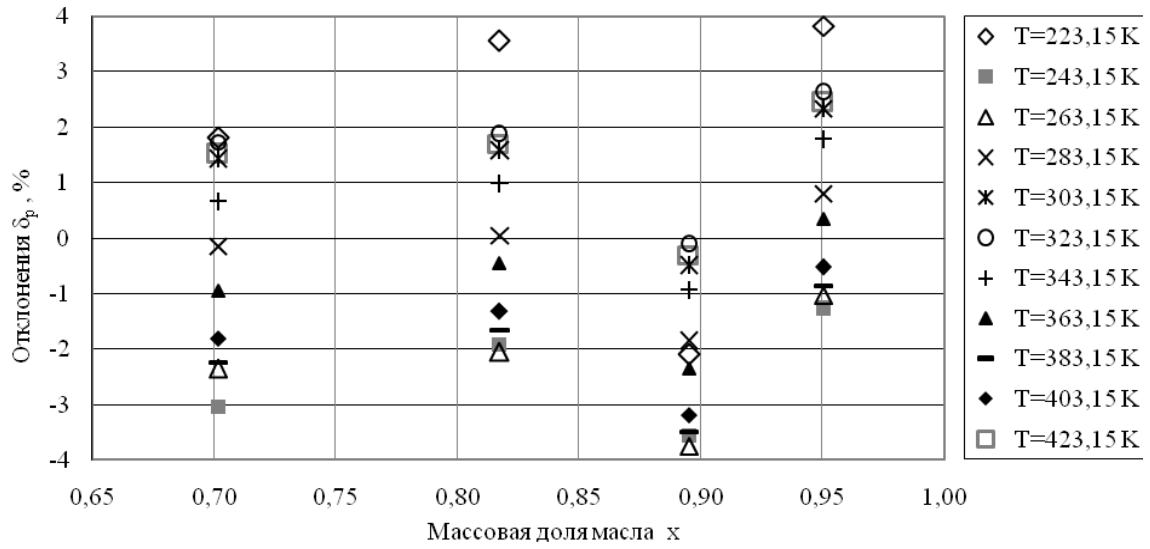


Рисунок 4 – Отклонения рассчитанных по уравнению (1) значений от экспериментальных данных по давлению кипения смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

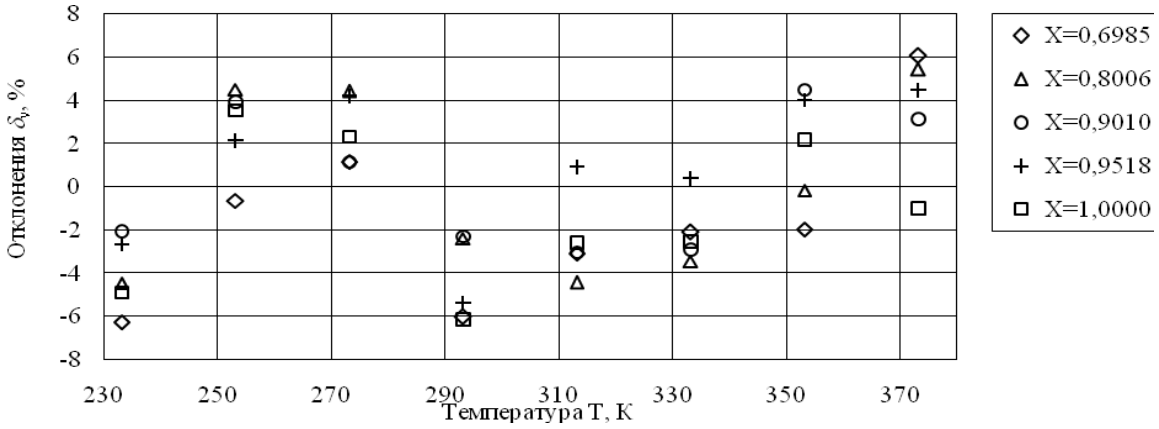


Рисунок 5 – Отклонения рассчитанных по уравнению (2) значений от экспериментальных данных по вязкости смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

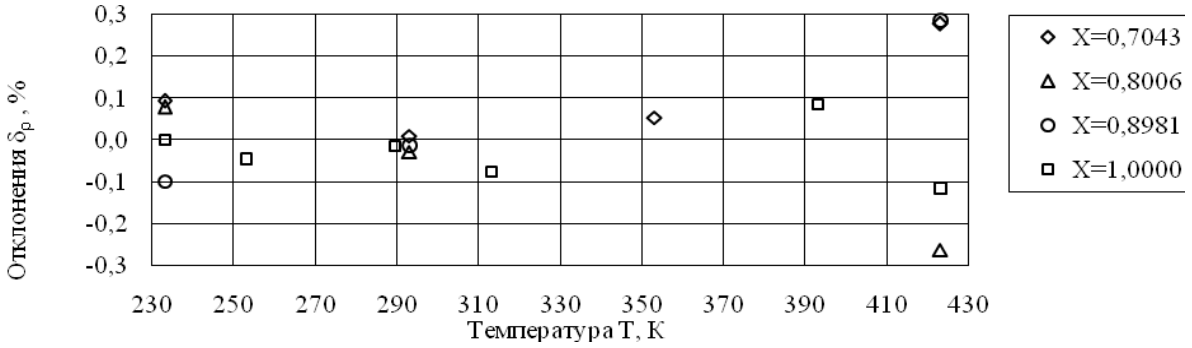


Рисунок 6 – Отклонения рассчитанных по уравнению (3) значений от экспериментальных данных по плотности смеси смазочного масла ISO 220 и хладона R245fa

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лапардин Н.И. Термодинамические и переносные свойства смеси R410B со смазочным маслом/ Н.И. Лапардин, В.З. Геллер //Пищевая наука и технология.–2009.- № 4 (9).- С. 78-81.

2. Геллер В.З. Свойства смеси хладагента R407C со смазочным маслом CPIEXP 32 /В.З. Геллер, Н.И. Лапардин //Темат. зб. наук. пр.- Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип.. 24. – С. 165 - 170.

3. Лапардин Н.И. Давление кипения и вязкость растворов смазочных масел ISO 15 и ISO 220 в хладоне R407C /Н.И. Лапардин, В.З. Геллер //Сборник трудов конференции «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» - Санкт-Петербург: СПбГУНПТ, 2010. – С. 455 - 460.

4. Лапардин Н.И. Давление кипения и вязкость смеси хладагента R407C со смазочным маслом ISO 46 // Пищевая наука и технология.-2010.- № 4 (13).- С. 66 - 68.

5. Лапардин Н.И. Равновесиежидкость-пар и вязкостьсмесисмазочного масла ISO 170 с хладоном R407C [Электронный ресурс] / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер// Вестн. Новгород. гос. ун-та. – Новгород, 2013. - №73, т. 2. – С. 24-27 – Режим доступа: http://www.novsu.ru/file/1082810.

6. Bivens, D. B. Thermodynamic properties of R32/R125 mixture / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z Geller // In Proceedings of the 4th Asian Thermophysical Conference, Japan, 1993 – P. 3295-3304.

7. Transport properties and heat transfer of alternatives for R502 and R22 / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z. Geller, M. E. Paulaitis // In Proceedings of the ASHRAE/NIST Refrigerants Conference , Gaithersburg, MD, 1994 –P. 73-84.

8. Viscosity of HFC32 and HFC32/lubricant mixtures / V. Z. Geller, M. E. Paulaitis, B. Bivens, A. Yokozeki, In Proceedings of the 12th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, CO, June 1994. - P. 477-486.

9. Lemmon, E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, version 8.0. / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. - 2007.

UDC 573.6.086.83

THE ROLE OF BIOTECHNOLOGY IN THE MODERN WORLD

Mkrtumova A.A., master, Benyash S.Y., master, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: mkrtumova-anait@mail.ru, k_s93@mail.ru

Biological technology (biotechnology) provides managed preparation of useful products for various spheres of human activity, based on the use of the catalytic potential of biological agents and systems of varying degrees of organization and complexity, micro-organisms, viruses, plant and animal tissues and cells and extracellular substances and components of cells. The development and transformation of biotechnology due to the profound changes that have occurred in biology in the last 25-30 years. The basis of these events amounted to new ideas in the field of molecular biology and molecular genetics. At the same time, it should be noted that the development and achievements of biotechnology are closely connected with the complex knowledge not only of the science of biology, but also many others. The practical extension of the sphere of biotechnology is also due to socio-economic needs of society. Such pressing issues facing humanity at the threshold of the XXI century, as the shortage of clean water and nutrients (especially protein), pollution, lack of raw materials and energy resources, the need for new, environmentally friendly materials, the development of new diagnostic tools and treatment, can not be solved by traditional methods. Therefore, for the sustenance of man, improving the quality of life and its duration becomes more and more necessary the development of innovative methods and technologies.

Development of scientific-technical progress, accompanied by higher rates of material and energy resources, unfortunately, leads to an imbalance in biosphere processes. Polluted water and air basins of cities, declining reproductive function of the biosphere due to accumulation of dead-end products of the technosphere violated global circulation cycles of the biosphere.

Biotechnology – the basis of scientific and technological progress and improving the quality of human life. Biotechnology as a field of knowledge and dynamically developing industrial sector aims to address many key issues, while ensuring the preservation of a balance in the system of relations "man – nature – society", for biological technology (biotechnology), based on the use of the potential of the living is by definition aimed at a friendly and harmony with the world around him. Currently biotechnology is divided into a few most significant segments: it is "white", "green", "red", "gray" and "blue" biotechnology. To "white" biotechnology include industrial biotechnology, focused on the production of products previously produced by the chemical industry, – alcohol, vitamins, amino acids, etc. (subject to the requirements of resource conservation and environmental protection). Green biotechnology covers the area, significant for agriculture. This research and technology aimed at establishing biotechnological methods and products to combat pests and diseases of cultivated plants and domestic animals, creation of fertilizer, improving plant productivity, including using the methods of genetic engineering. Red (medical) biotechnology is the most significant area of modern biotechnology. The production of biotechnology-derived diagnostics and drugs using the technology of cellular and genetic engineering (green vaccines, gene diagnostics, monoclonal antibodies, designs and products of tissue engineering, etc.). [1]

Grey biotechnology is developing technologies and products for the protection of the environment; it is reclamation of soil, wastewater treatment and gas emissions, disposal of industrial wastes and degradation of

toxicants using biological agents and biological processes. Blue biotechnology focuses primarily on effective utilization of ocean resources. First of all, the use of marine biota to obtain food, technical, biologically active and medicinal substances.Modern biotechnology is one of the priorities of the national economy of all developed countries. The way to increase competitiveness of biotech products in the markets is a fundamental part of the overall development strategy of biotechnology in the industrialized countries. Stimulating factor act specifically adopted the government program for accelerated development of new areas of biotechnology. Among biotech destinations close to practical implementation or are at the stage of industrial development, the following: - bioconversion of solar energy; - the use of microorganisms to increase the yield of oil and leaching of nonferrous and rare metals; - construction of strains capable of replacing expensive inorganic catalysts and to modify the synthesis conditions for production of new compounds; - the use of bacterial plant growth stimulators, changing the genotype grasses and their adaptation to the maturation in the extreme conditions (without tillage, irrigation and fertilizer); - directed biosynthesis efficiently producing target products (amino acids, enzymes, vitamins, antibiotics, food additives, pharmacological drugs; - obtaining new diagnostic and therapeutic drugs based on the methods of cell and genetic engineering.

The term “modern biotechnology” currently involve most often the two most important directions of genetic and cellular engineering, which cover the main part of this complex interdisciplinary technology and have the widest potential application. It was here in the last 20 years there has been significant progress in the development and production of biologically active substances. This is, primarily, the creation of industrial technology for production of a wide range of genetically engineered drugs of insulin, human growth hormone, interferons, interleukins, erythropoietin, tissue plasminogen activator, a number of monoclonal antibodies and vaccines, and many others. [2]

Currently, the greatest contribution of modern biotechnology is in the field of health, and in the near future this trend is likely to continue due to the following causes. First, this is a high level of contributions from the pharmaceutical industry on the funds allocated for research and development work overall, and including the basic research that pharmaceutical companies on average allocate up to 20% of the total the funds allocated for research and development work budget (typically in developed countries it is 20-25% of turnover), which is 2-4 times higher than in most other industries. Secondly, the possibility of unlimited production of natural protein natural bioregulators and other biologically active substances, including rare and expensive, industrial production of which for medical purposes meets certain difficulties. And, third, high market capacity and the profit level, due to acute social tensions and increasing consumption of this commodity group of products.

Basic research in modern biotechnology – genetic and cell engineering — helped create a strong scientific groundwork and to give a boost to many applications.

Development using modern biotechnology are most actively conducted in the USA, Japan and some countries of Western Europe, where for these purposes is spent, on average, 2/3 of the funds allocated for research and development work in biotechnology. In virtually all these States have government programs supporting biotechnology projects, conducts fundamental research and industrial application of new biotechnological products. [3]

In the USA, in the field of modern biotechnology for fundamental and applied research was established many specialized biotech firms, attracting private and public capital and scholars, in a matter of years, has developed and patented methods of obtaining many of the protein products of medical purpose. Such firms are primarily Genentech, Biogen, Amgen, Genetics Institute, Cetus, Immunex and others.

At about the same time to the funds allocated for research and development work in modern biotechnology has involved large multinational companies, funding research, acquiring shares or certificates for finished products, and subsequently creating their own research units. These firms played a decisive role in the commercialization of the first genetically engineered medicines, such as insulin, human growth hormone, interferon, erythropoietin, tissue plasminogen activator, hepatitis b vaccine, etc. For example, the firm Genentech has a different license agreement and a collaboration agreement with Eli Lilly (USA), Hoffmann-La Roche (Switzerland), Takeda, Daiichi Seiyaky, Toray and Fujisawa (Japan), BoehringerIngelheim, Gruenenthal (Germany), KabiVitrum (Sweden).

USA

The rapid development of biotechnology in the United States is also due to the inflow of capital from other countries. By the end of 2000 in the USA there were over 200 joint biotechnology companies, including 98 with Japanese firms and 46 from Western.

In 2005, the total number of biotech firms in the U.S., according to MedAdNews, has reached 400, with a tendency to create large integrated biopharmaceutical companies on an individual basis, often a small but technically well-equipped biotechnology firms and their branches. [4]

Development of anticancer drugs is a priority of biotechnology research in the United States. About 60% of drugs of total number developed by biotechnological means is intended for the treatment of cancer or diseases associated with it. It is primarily the interferons, interleukins, conjugates of monoclonal antibodies, tumor necrosis factor and various colony-stimulating factors, 18 genetically engineered drugs, are at different stages of clinical studies, are potential agents for the treatment of AIDS and diseases associated with HIV.

Another leading group among developing biotechnology products include vaccines. Currently in the U.S. in various stages of development are 14 genetically engineered vaccines designed to fight HIV / AIDS, hepatitis, malaria, herpes, various neoplastic diseases, etc. In third place among the most actively developing genetically engineered products — interleukins. In the U.S. at various stages of development are 16 products in this group, as well as 18 types of interferons, colony stimulating factors 19, 24 growth factor 4, human growth hormone, superoxide dismutase 2, 4 recombinant protein soluble CD-4, 3 tumor necrosis factor, 2 versions of EPO and 6 croissantwich factors.

Japan

Japan ranks second in the world after the USA by level of development of biotechnology. And if in the traditional areas, in particular in the production of enzymes, antibiotics and amino acids, the position of Japan is very strong, in the application of the latest biotechnology methods, there was a noticeable lag from the USA, made great strides in this direction. To overcome this gap, Japan has relied on the revolutionary development of biotechnology. The calculation was done as the revolutionary ways of development (the practical use of scientific and technical information and the purchase of licenses and patents for genetic engineering technology and microbial strains) and rapid preparation of Japanese professionals through an internship abroad and expanding its research on genetic engineering in the universities and laboratories of industrial firms. Unlike the U.S., specialized biotechnology firms in Japan created very little and, as a rule, research in this area is occupied by large and medium-sized pharmaceutical firms.

Currently about 5% of the funds allocated for research and development work expenditures of the pharmaceutical industry Japan falls on research in the field of genetic engineering and about 1.2 thousand companies have their own programs on the development of methods of obtaining drugs by using latest techniques of biotechnology. On implementation of the 10-year program of development of biotechnology (1981-1990) public organizations together with private companies have appropriated $ 517,2 million. Public expenditure in 1991-2000 exceeded $ 2 billion.

Of great importance for the development of biotechnology in Japan is close cooperation between the public and private sector in implementation of various biotechnological programmes involves a number of ministries. When the Japanese ministries since the late 1980's became the established research associations, with the participation of biotechnology and pharmaceutical firms engaged in fundamental research in biotechnology.[5] Back in 1983 with the assistance of the Ministry of foreign trade and industry Corporation was established on biotechnological developments (BIDEC), which brings together currently 175 companies. In various projects on genetic engineering participated in a total of 129 firms.

In recent years in the development of modern biotechnology in Japan has a significant impact on universities, intensive in research in genetic and cell engineering. The level of these developments they are already close to the level of research conducted at U.S. universities.

Western Europe

Along with the United States and Japan in biotechnology is growing rapidly in Western Europe. Assessment Interpharm Press, coordinated their activities, these countries in the future may have a significant impact on the market of biotech products. As in the United States, in the 1980s in Western Europe dramatically increased the number of small biotech firms. They arose mainly on the basis of laboratories previously conducted fundamental research. Many of them are financed at the present time, industrial corporations and financial institutions either benefit from financial support from the government.

The greatest development of pharmaceutical biotechnology has been observed in the UK (as at November 2002 there were 58 firms that conducted research in the field of biotechnology), in France, 51 companies registered in Germany, 48. Significant efforts to promote biotechnology are undertaken by the governments of the Netherlands, Italy, Denmark and Sweden.

Program in biotechnology, funded by the governments of Western European countries, focused on the implementation of targeted programmes or the achievement of specific business goals (unlike the US, where the state aims mainly to support basic research, and companies and private sector organizations develop practically without financial support from the state).

Russia

Strategic direction of development of domestic pharmaceutical and biotech industries and related science, in our opinion, should be the creation and production of original, patent-protected drugs that have

significant advantages in efficiency and (or) safety before known in world medical practice drugs. As life shows, almost all the leading and successful in the pharmaceutical business, the foreign firms get major profits at the expense of the original and patent-protected medicines. Large revenues from the sale of original products allow firms not only to maintain high scientific and technical level of production, but also to Fund research conducted in firms and in universities, in the search of new drugs. Of course, the strategic course for the creation of original drugs will be expensive. The need to invest heavily in our search themes is due to the fact that the process of creating original and patent-protected drugs is very complicated, very long and finansovoemkim respectively. [6] For example, on the development of the original pioneer drug substances in the Russian Federation requires from 5 to 10 years and 250-300 million. But other way for the rise of national pharmacy no. However, according to many famous scientists, having embarked on the development of the domestic pharmaceutical industry, should not be discarded completely and the reproduction of the most valuable drugs used in medical practices around the world.

While not too extensive experience of biotechnology development still contains many unusual and promising for possible optimization of human activity. Sharply standing problem of self-preservation forces him to feverish search for possible variants of strategy of their life. This attraction of nature, and it is the world of micro-organisms, and marked the beginning of a new biotechnology. It is possible, apparently, to say that biotechnology in conjunction with other scientific areas opens a new era of human interaction with the environment and, especially, with the living substance of the biosphere.

Appearing a direct result of scientific developments, biotechnology is the direct unity of science and production, another step towards the unity of knowledge and action, another step closer to overcoming external and internal to the comprehension of expediency". And yet it is only a small step. Because, as noted by Shaw, science is always wrong. She never solves any problem without creating ten new ones.

Biotechnology itself is just a large industry, the connection of technical and biological elements and, of course, inherits the negative characteristics of the existing industrial complex. Overcoming them is valid and the solution of the problem of man involve the exit of humanity to new, more advanced stage of socio-cultural development, based on new methods of cognition and action. Therefore very significant is the problem of choice of strategy of interaction between man and nature: this is presumptuous or control nature or a conscious and purposeful adaptation of the whole vital activity, to an existing biotic cycle of the biosphere.

REFERENCES

1. Egorova, T.A. fundamentals of biotechnology / T. A. Egorova, S. M. Klenova, E. A. Ginogina. – M.: Academy, 2006. – 208 p.

2. Technology of milk and dairy products : Proc. for stud. universities/ G. N. Crush [and others]; Ed. A. M. Shalygina. - M.: Colossus, 20 c.

3. Rogov I. A. Food biotechnology / I. A. Rogov, L. V. Antipov, G. P. Shuvaeva KN.1: Fundamentals of food biotechnology. -2004.

4. G. A. Ermolaeva, etc. Technology and equipment for production of beer and soft drinks / G. A. Yermolayeva, A. R. Kalcheva. – M.: IRPO, Academy, 2000. – 414 p.

5. Mrs. Z. P. commodity food products / Z. P., Matyukhin, E. P. wheat. - M.: Prefabricat, 20 c.

6. Elinov N. P. fundamentals of biotechnology. SPb.: Science, 2010, 600 p.

7. Varfolomeev S. D., S. V. Kadurin Biotechnology, kinetic bases of microbiological processes. M.: Higher school, 2009.

8. Golubev V. N., I. N. Zhiganov. Food biotechnology. Moscow: deli print, 2009.

УДК 532.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ОКОЛОКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ДВИЖЕНИИ В КАПИЛЛЯРЕ

Лукьянова А.С., Одесса, Украина,
Дайтерс У.К., д-р., Германия, Бошкова И.Л., д.т.н., г. Одесса, Украина,
E-mail: albireo@ukr.net, ulrich.deiters@uni-koeln.de, ira@boshkova@mail.ru

Необходимость описания процессов переноса в условиях аномального роста сжимаемости связана с развитием новых технологий, в частности, технологий повышения вторичной нефтеотдачи пластов при вытеснении ее углекислотой. Технология сверхкритического CO_2-вытеснения также является одним из перспективных методов освоения месторождений трудноизвлекаемых запасов

нефти. Преимущества применения CO_2 в сравнении с другими методами описаны в работах [1,2] и связаны они с более высокой вязкостью, сжимаемостью и растворимостью углекислоты в сверхкритическом состоянии [2]. Согласно экспериментальным исследованиям, применение этой технологии позволяет получить коэффициент извлечения нефти на уровне 40-60 % [1,3], тогда как коэффициент извлечения нефти традиционными методами на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами редко превышает 30 %, а на месторождениях высоковязких нефтей он еще меньше. Пример математического моделирования фильтрации многокомпонентной системы при вытеснении нефти сверхкритическим углекислым газом представлен в работе [4].

Математическое моделирование процессов вытеснения осложняется тем, что в области применения термодинамические параметры достигают значений, близких к термодинамической окрестности критической точки, где будут проявляться эффекты, которыми в других условиях можно было пренебречь. В первую очередь, это – ускорение потока и возрастающее влияние объемной вязкости. Значительное увеличение сжимаемости приводит к изменению плотности по длине капилляра, вызывая ускорение потока, что приводит к отклонению формы профиля скоростей от параболического распределения.

Математическая модель движения сжимаемой жидкости в порах и капиллярах, составляющих структуру пласта, составлена в предположении, что жидкость движется в канале круглого сечения постоянной величины. Рассматривается поток сжимаемой жидкости, движущейся в капилляре при отсутствии внешних источников тепла. Задача нахождения зависимости для определения профиля скоростей решалась при следующих условиях и допущениях:

- жидкость движется в капилляре в термодинамическом состоянии, близком к критической точке жидкость-пар;
- течение является стационарным и изотермическим;
- давление в канале зависит только от продольной координаты z и принимается постоянным по сечению;
- радиус капилляра мал по сравнению с его длиной. Поток обладает осевой симметрией: $\frac{\partial w}{\partial \varphi} = 0$;
- рассматривается ламинарный режим течения;
- стратификация потока и флуктуационные явления не учитываются.

Последнее допущение имеет существенное значение. Известно, что при приближении к критической точке (КТ) гравитационные эффекты проявляются в виде стратификации жидкости, что было заметно при проведении экспериментов даже с малыми объемами критических жидкостей. Так, при исследовании вязкости ксенона [5] на высоте столба жидкости 0.7 мм негомогенность плотности достигала 7%. Кроме того, движение способствует увеличению спонтанных флуктуаций, после возникновения которых в связи с особыми свойствами критического состояния релаксационные процессы в флюиде длятся часы и даже дни, т.е. время установления равновесия заметно превышает время проведения эксперимента. В предлагаемой задаче учитывается только влияние сжимаемости и, соответственно, изменение плотности (удельного объема) по длине капилляра из-за потерь давления по потоку.

С учетом принятых условий уравнение движения в дифференциальной форме в цилиндрической системе координат принимает вид, аналогичный уравнению движения, полученному авторами [6]:

$$\rho w \frac{\partial w}{\partial z} - \eta \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = -\frac{dp}{dz} + \eta \left(\frac{4}{3} + \frac{\eta'}{\eta} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \qquad (1)$$

где: η - коэффициент динамической сдвиговой вязкости, η' - коэффициент объемной вязкости. Производную $\frac{\partial w}{\partial z}$ можно получить из условия постоянства массового расхода: $G = \rho \overline{w} A = const$, где $\overline{w}$ - средняя по сечению капилляра скорость, A - площадь поперечного сечения капилляра, G - массовый расход. При принятии допущения, что плотность и давление постоянны в пределах сечения капилляра, т.е. $\frac{\partial \overline{w}}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z}$, зависимости для первой и второй производной продольной компоненты скорости принимают вид:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{G}{A} \left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p} \right)_T \frac{dp}{dz} \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \frac{G}{A} \left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial p^2} \right)_T \frac{dp}{dz} + \frac{G}{A} \left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p} \right)_T \frac{d^2 p}{dz^2}.$$

Для решения дифференциального уравнения (1) необходимо привлечь уравнение состояния жидкости, связывающее удельный объем, давление и температуру $\upsilon = \upsilon(p,T)$, что позволит определить производную $\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p}\right)_T$. Для жидкости в термодинамическом состоянии, далеком от критической точки, эта производная пренебрежимо мала, однако резко возрастает при приближении к КТ, что соответствует росту изотермической сжимаемости $\beta = -\frac{1}{\upsilon}\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p}\right)_T$. Незначительные потери давления по длине канала вызовут в рассматриваемых условиях существенное изменение плотности (удельного объема).

В общем виде решение уравнения (1) было получено с помощью средств MAPLE V, и имеет вид:

$$w(r) = \frac{M-N}{k^2} - C1 \cdot I_0(kr) + C2 \cdot K_0(kr) \qquad (2),$$

здесь: $M = \left(\frac{4}{3} + \frac{\eta'}{\eta}\right)\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$, $N = \frac{1}{\eta}\frac{dp}{dz}$, $k^2 = \frac{G}{\nu A}\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial p}\right)_T \frac{dp}{dz}$, I_0 и K_0 - функции Бесселя мнимого аргумента, ν - коэффициент кинематической вязкости.

Для вычисления постоянных интегрирования $C1$ и $C2$ используются граничные условия: скорость потока равна нулю на стенке канала и максимальна в его центре. После подстановки выражений $C1$ и $C2$ в уравнение (2), окончательный вид зависимости для расчета профиля скоростей при движении сжимаемой жидкости принимает вид:

$$w(r) = \frac{M-N}{k^2}\left(1 - \frac{I_0(kr)}{I_0(kR)}\right) \qquad (3)$$

здесь: R - радиус поперечного сечения капилляра, r - текущий радиус.

В работе исследовалось околокритическое течение углекислого газа, для определения его термодинамических характеристик применялась программа ThermoC, разработанная проф. У.К. Дайтерсом [7], основанная на методе [8]. Результаты расчета производных термодинамических величин, значения которых необходимы для получения данных по зависимости (3), приведены в табл. 1.

По результатам расчета производных $(dp/d\upsilon)_T$ и $(d^2p/d\upsilon^2)_T$ получено значение $(d\upsilon/dp)_T$ и $(d^2\upsilon/dp^2)_T$, причем вторая производная в соответствии с приведенным ниже выводом равна: $-\frac{1}{(\partial p/\partial \upsilon)^3}\frac{\partial^2 p}{\partial \upsilon^2}$:

$$\left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial p^2}\right) = \frac{\partial}{\partial p}\frac{\partial v}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p}\frac{1}{\frac{\partial \upsilon}{\partial v}} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial p}{\partial \upsilon}\right)^2}\frac{\partial}{\partial p}\frac{\partial p}{\partial \upsilon} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial p}{\partial \upsilon}\right)^2}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\frac{\partial}{\partial \upsilon}\right)\frac{\partial p}{\partial \upsilon} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial p}{\partial \upsilon}\right)^3}\frac{\partial^2 p}{\partial \upsilon^2}.$$

Таблица 1 – Результаты расчета термодинамических параметров в окрестности критической точки. $T = 304{,}128$ К.

№	v, м^3/кг	$(dp/d\upsilon)_T$, Па·кг /м^3	$(d^2p/d\upsilon^2)_T$, Па^2·кг^2/м^3	$(d\upsilon/dp)_T$, м^3/(Па·кг)	$(d^2\upsilon/dp^2)_T$, м^3/(Па^2·кг^2)
1	$2{,}045\cdot10^{-3}$	$-6{,}191\cdot10^{5}$	$2{,}569\cdot10^{16}$	$-1{,}615\cdot10^{-6}$	-0,108
2	$2{,}068\cdot10^{-3}$	$-2{,}173\cdot10^{5}$	$1{,}115\cdot10^{16}$	$-4{,}602\cdot10^{-6}$	-1,087
3	$2{,}091\cdot10^{-3}$	$-5{,}68\cdot10^{4}$	$3{,}906\cdot10^{15}$	$-1{,}76\cdot10^{-5}$	-21,311
4	$2{,}114\cdot10^{-3}$	$-8{,}183\cdot10^{3}$	$8{,}733\cdot10^{14}$	$-1{,}222\cdot10^{-4}$	$-1{,}594\cdot10^{3}$
5	$2{,}125\cdot10^{-3}$	$-1{,}758\cdot10^{3}$	$3{,}166\cdot10^{14}$	$-5{,}688\cdot10^{-4}$	$-5{,}826\cdot10^{4}$
6	$2{,}132\cdot10^{-3}$	-384,098	$1{,}128\cdot10^{14}$	$-2{,}604\cdot10^{-3}$	$-1{,}991\cdot10^{6}$
7	$2{,}139\cdot10^{-3}$	-0,522	$-1{,}9134\cdot10^{13}$	-1,916	$1{,}346\cdot10^{14}$
8	$2{,}145\cdot10^{-3}$	-404,048	$-1{,}427\cdot10^{14}$	$-2{,}457\cdot10^{-3}$	$2{,}164\cdot10^{6}$
9	$2{,}159\cdot10^{-3}$	$-7{,}239\cdot10^{3}$	$-9{,}754\cdot10^{14}$	$-1{,}371\cdot10^{-4}$	$2{,}515\cdot10^{3}$
10	$2{,}182\cdot10^{-3}$	$-6{,}013\cdot10^{3}$	$-4\cdot10^{15}$	$-1{,}663\cdot10^{-5}$	18,394

Результаты расчета профиля скоростей по сечению канала радиусом $r = 4$ мм представлены на рис.1. Расход $G = 2{,}1843 \cdot 10^{-6}$ кг/с, режим движения – ламинарный. Анализ полученных данных показывает, что при приближении к КТ наблюдается отклонение формы профиля от профиля Пуазейля, характерного для ламинарных режимов, что объясняется эффектами сжимаемости жидкости. При значении удельного объема $\upsilon = 2{,}139 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг м^3/кг (линия 3), которое практически соответствовало КТ, скорости выравниваются, профиль принимает форму, соответствующую осредненной при турбулентном режиме.

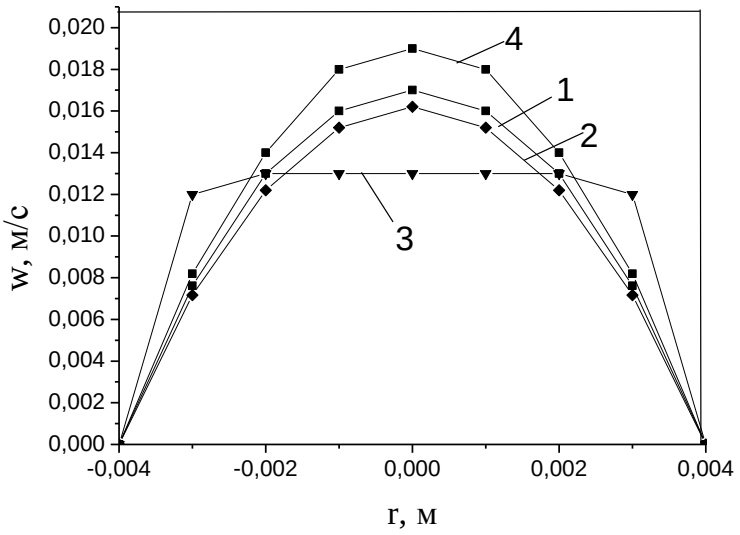


Рисунок 1 – Профили скоростей флюида (CO_2) в окрестности КТ

1 - $\upsilon = 2{,}125 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг, 2 - $\upsilon = 2{,}132 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг, 3 - $\upsilon = 2{,}139 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг, 4 - $\upsilon = 2{,}159 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг.

На рис. 2 представлены профили, полученные для различных радиусов канала при фиксированном значении удельного объема $\upsilon = 2{,}159 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг.

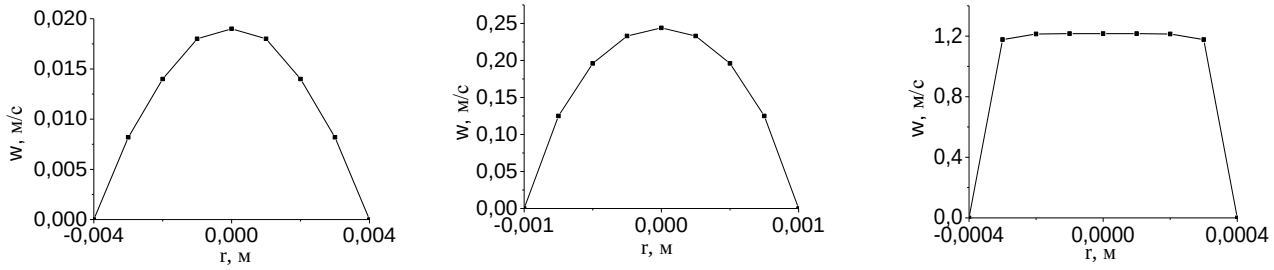


Рисунок 2 – Профили скоростей флюида в окрестности КТ при различных значениях радиуса канала. Расход $G = 2{,}1843 \cdot 10^{-6}$ кг/с.

Результаты расчетов показывают, что уменьшение радиуса приводит к увеличению отклонения от профиля Пуазейля. Это важно учитывать при моделировании процессов нефтеотдачи для проведения математических операций усреднения диффузионных процессов. Полученная аналитическая зависимость учитывает влияние сжимаемости флюидов при стабилизированном течении в капилляре и позволяет определить профиль скоростей сжимаемых потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филенко Д.Г. Исследования влияния термобарических условий на вытеснение нефти диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии / Д.Г. Филенко, М.Н. Дадашев, В.А. Винокуров// Вести газовой науки, 2012. - №3 (11). – С. 371-382.

2. Гумеров Ф.М. Перспективы применения диоксида углерода для увеличения нефтеотдачи пластов // Вести газовой науки, 2011. - №2 (7). – С. 93-109.

3. Радаев А.В. Экспериментальное исследование процесса вытеснения высоковязкой нефти сверхкритическим диоксидом углерода в широком диапазоне термобарических условий/ А.В. Радаев, Н.Р. Батраков, И.А. Кондратьев, А.А. Мухамадиев, А.Н. Сабирзянов// Георесурсы, 2010. - № 2(34). – С. 16-17.

4. Батраков Н.Р. Исследование процесса вытеснения нефти из обводненного пласта сверхкритическим диоксидом углерода / Н.Р. Батраков, Р.Ш. Абсалямов, Р.Р.Галимзянов, И.Д.Закиев, А.В. Радаев, А.Н. Сабирзянов, А.А. Мухамадиев //Вестник Казанского технологического университета, 2013. - Т.16. - №10. - С.245-248.

5. Berg R.F., Moldover M.R. Critical exponent for viscosity of carbon dioxide and xenon // J. Chem. Phys.- 1990.- № 93.- P. 1926-1938.

6. Van den Berg H.R., ten Seldam C.A., van der Gulic P.S. Compressible laminar flow in capillary // J. Fluid Mech.- 1993.- Vol. 246.- P. 1-20.

7. U. K. Deiters. A modular program system for the calculation of thermodynamic properties of fluids. Chem. Eng. Technol., 2000, 23.- P. 581–584.

8. U. K. Deiters and T. Kraska, High-Pressure Fluid Phase Equilibria - Phenomenologyand Computation, volume 2 of Supercritical Fluid Science and Technology. Elsevier, Amsterdam, 2012 – 370 p.

УДК 641.528.6

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Потапов В.А., д.т.н., Янчева М.А., к.т.н., Мольский А.С.,
Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков, Украина
E-mail: potapov@bigmir.net

Замораживание – наиболее распространенный способ консервирования, который обеспечивает длительное хранение пищевых продуктов благодаря предотвращению развития микробиологических процессов и резкому уменьшению скорости ферментативных и физико-химических процессов. Конечной целью холодильной обработки является максимальное сохранение пищевой и биологической ценности продукта, однако в процессе замораживания-размораживания продукта происходят необратимые изменения, связанные с фазовым переходом воды в лед и повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ. Основные изменения при замораживании пищевых продуктов происходят в области максимальной скорости кристаллизации, которая лежит в диапазоне -1…10°С [1]. Существующая классическая модель описывает процесс кристаллизации при замораживании пищевых продуктов, рассматривая процесс замерзания истинного раствора сравнительно небольшой молекулярной концентрации, содержащий соли, белки и др. компоненты. На основании этих представлений используется уравнение Рауля для расчета доли вымороженной влаги и удельной теплоемкости продукта в процессе замораживания-размораживания. Однако такая модель пищевого продукта далека от реальных процессов, которые происходят при замораживании, поскольку по существующей классификации пищевые продукты относятся к коллоидным капиллярно-пористым телам, для которых характерно наличие межмолекулярных взаимодействий, приводящих к процессам связывания влаги, в том числе, в процессе замораживания.

Целью статьи является поиск уравнения, описывающего процесс кристаллизации влаги при замораживании, в коллоидных капиллярно-пористых материалах, к которым относятся пищевые продукты.

Объектом исследования является процесс кристаллизации при замораживании пищевых продуктов. В тоже время математическое описание такого процесса гораздо сложнее, чем соответствующий эксперимент. Профессором Онищенко В.П. [2] показано, что при математическом моделировании процессов холодильной обработки следует отказаться от использования известного граничного условия Стефана, которое включает наличие источника теплоты на подвижной границе контакта двух температурных полей для охлажденного и замороженного слоя продукта, поскольку реально такой границы при замораживании продуктов не существует. Не существует и значений истинной теплоемкости продуктов, в которых бы еще раз не учитывалась теплота фазового перехода.

Поэтому, основываясь на этой концепции, нами в качестве основного теплофизического параметра, описывающего процессы замораживания-размораживания, была выбрана эффективная или полная удельная теплоемкость, которая определяется следующим образом

$$C_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0\omega(t) + L_w w_0 \frac{d\omega}{dt}, \qquad \text{(при } t < t_{кр}\text{)} \qquad (1)$$

$$C_e = c_0, \qquad \text{(при } t > t_{кр}\text{)} \qquad (1а)$$

где C_e – эффективная (полная) удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

c_0 - удельная теплоемкость при температурах t выше криоскопической $t_{кр}$, Дж/(кг·К),

c_w - удельная теплоемкость воды, c_w = 4190 Дж/(кг·К);

c_i - удельная теплоемкость льда, c_i = 2100 Дж/(кг·К);

L_ω - удельная теплота фазового перехода вода-лед, L_ω =3,35·10^5 Дж/кг;

w_0 – начальная влажность в долях от общей массы;

ω - доля вымороженной влаги по отношению к общей массе воды;

t - текущая температура, °С.

Как известно, удельная теплоемкость величина аддитивная, поэтому любые изменения в пищевых продуктов при замораживании, оказывают на нее непосредственное линейное влияние, кроме того, любые возможные химические или биохимические реакции, как правило, имеют тепловой эффект и, таким образом, также непосредственно отражаются на величине теплоемкости.

Для практического использования уравнения (1) необходимо знать температурную зависимость для величины доли вымороженной влаги $\omega(t)$. В теплофизических расчетах процессов холодильной обработки используют две модели для расчета количества вымороженной влаги: модель, основанная на уравнении Рауля для истинных растворов

$$\omega(t) = 1 - \frac{t_{кр}}{t}; \qquad (2)$$

и эмпирическая модель Чижова-Латышева

$$\omega(t) = \frac{1{,}105}{1 + \dfrac{0.714}{\ln(t + 1 - t_{кр})}}; \qquad (3)$$

Дифференцируя последние два уравнения, получаем выражения для скорости кристаллизации в модели Рауля

$$\left|\frac{d\omega}{dt}\right| = \frac{t_{кр}}{t^2}, \qquad (4)$$

в модели Чижова-Латышева

$$\left|\frac{d\omega}{dt}\right| = \frac{0.789/(t + 1 - t_{кр})}{\left[\ln(t + 1 - t_{кр}) + 0.714\right]^2}. \qquad (5)$$

Подставляя выражения для скорости кристаллизации (4), (5) и доли вымороженной влаги (2), (3) в уравнение (1), получаем следующие выражения для расчета эффективной удельной теплоемкости

В модели Рауля

$$C_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0\left(1 - \frac{t_{кр}}{t}\right) + L_w w_0 \frac{t_{кр}}{t^2}, \qquad \text{(при } t < t_{кр}\text{)} \qquad (6)$$

$$C_e = c_0. \qquad \text{(при } t > t_{кр}\text{)} \qquad (6а)$$

в модели Чижова-Латышева

при $t < t_{кр}$

$$C_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0\left[\frac{1{,}105}{1 + \dfrac{0.714}{\ln(t + 1 - t_{кр})}}\right] + L_w w_0 \frac{0.789/(t + 1 - t_{кр})}{\left[\ln(t + 1 - t_{кр}) + 0.714\right]^2}, \qquad (7)$$

при $t > t_{кр}$ $C_e = c_0$ (7а)

На рис. 1 приведены графики удельной теплоемкости, построенные по уравнениям (6), (7) с использованием теплофизических характеристик говядины, приведенных Роговым А.И. [1]

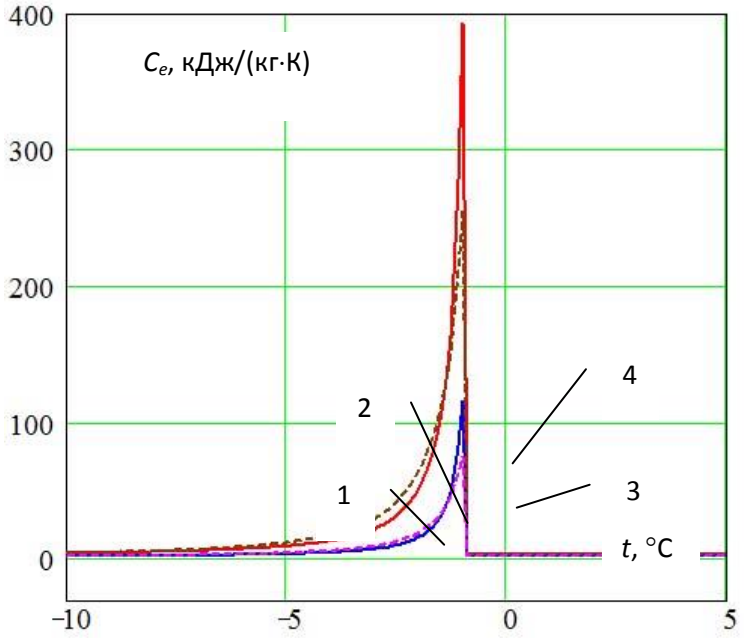


Рисунок 1 - Расчетные значения удельной теплоемкости говядины согласно классическим моделям: 1,3 – модель Рауля, 2,4 - модель Чижова-Латышева, при разном содержании воды (w_0 в долях от массы):
1,2 – w_0=0,75; 3,4 – w_0=0,22

На рис.2 приведены экспериментальные данные калориметрических измерений удельной теплоемкости говядины, полученные Риделем [3].

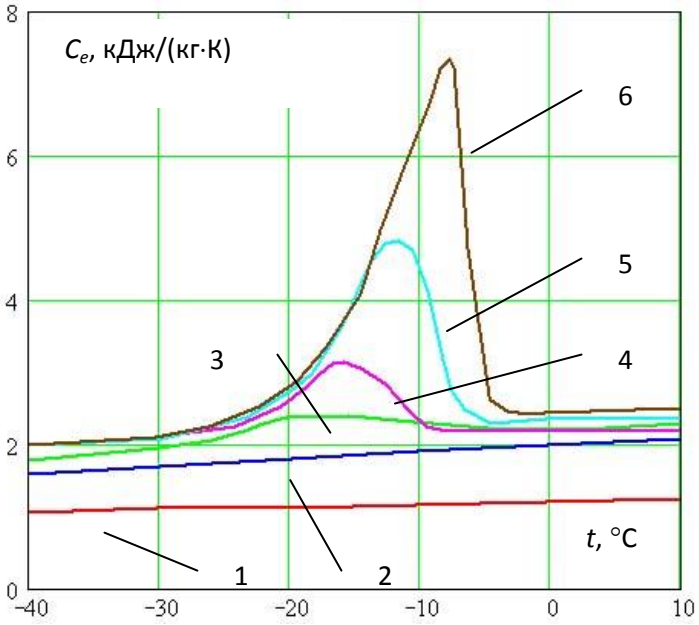


Рисунок 2 - Удельная теплоемкость обезжиренной говядины при разном содержании воды w_0 (в % от массы) от температуры [3]:
1 – w_0=0; 2 – w_0=0,17; 3 – w_0=0,22; 4 – w_0=0,26; 5 – w_0=0,3; 6 – w_0=0,35.

Сравнение этих графиков демонстрирует существенное отличие теоретических расчетов по уравнениям (6), (7) от экспериментальных данных рис.2. Характерным отличием экспериментальных данных является более широкий криоскопический интервал, в котором наблюдается фазовый переход, смещение максимума скорости кристаллизации влаги и криоскопической температуры с уменьшением влажности образца в область более низких температур, меньшая скорость изменения теплоемкости в криоскопической области. По нашему мнению, такое существенное отличие температурной зависимости теплоемкости вызвано достаточно грубой моделью пищевого продукта, вытекающей из уравнения Рауля. В классических моделях теплоемкости (6), (7) влага в продукте отождествляется с истинным раствором, который в процессе замораживания постепенно концентрируется вплоть до эвтектической температуры. Однако общепринятой моделью пищевых продуктов является коллоидное капиллярно-пористое тело (ККПТ), характерной особенностью которого является гетерогенность по структурно-механическим свойствам, химическому составу и энергиям связи. Влага в пищевых продуктах находится в динамическом взаимодействии с дисперсной фазой и может менять свою энергию связи в результате не только изменения температуры, но и процессов денатурации белков, превращения полисахаридов, ферментативных реакций [4]. Комплекс этих процессов не может быть описан в рамках теории вымораживания истинных растворов, что и является причиной, описанных выше расхождений теоретических и экспериментальных данных.

Согласно существующим теориям процесс кристаллизации в сложных термодинамических системах [5], к которым относятся и пищевые системы, следует рассматривать как наложение нескольких конкурирующих процессов. В случае ККПТ это как минимум два основных процесса – вымораживание свободной влаги (основной процесс) и конкурирующий процесс - увеличение энергии межмолекулярного взаимодействия для связанной влаги, которое проявляется как увеличение вязкости системы и гелеобразование. Причем эти два процесса по-разному зависят от температуры, если скорость основного процесса (вымораживание свободной влаги) с уменьшением температуры снижается, то скорость конкурирующего процесса (увеличение энергии связи) растет. Графически это иллюстрирует рисунок 3.

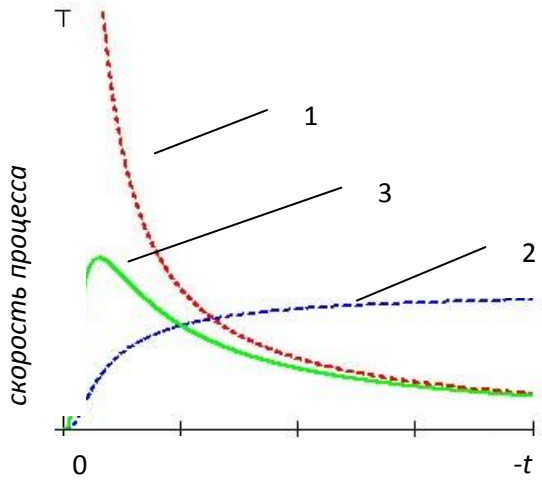


Рисунок 3 - Скорость кристаллизации при замораживании коллоидных капиллярно-пористых материалов.
1 – скорость вымораживания свободной влаги; 2 – скорость связывания влаги; 3 – скорость кристаллизации.

Исходя их этой физической модели процесса замораживания пищевых систем, нами предложена математическая модель для скорости кристаллизации в виде произведения двух экспонент

$$\left|\frac{d\omega}{dt}\right| = A \cdot e^{-k_1 t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2 t}}, \qquad (8)$$

где: A, k_1, k_2 – эмпирические константы;

t – температура (по модулю), °С.

Величина k_1 задает скорость основного процесса (скорость вымораживания свободной влаги), величина k_2 задает скорость конкурирующего процесса (скорость связывания влаги). Амплитудный множитель A связан с константами k_1, k_2 условием нормировки (максимальное количество вымороженной влаги равно единице при достижении эвтектической температуры)

$$\int_0^{|t_{эвт}|} A \cdot e^{-k_1 t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2 t}} dt = 1, \qquad (9)$$

где $t_{эвт}$ – эвтектическая температура (для большинства пищевых продуктов $t_{эвт}$=-55…-65°С).

С учетом полученного выражения для скорости кристаллизации, эффективная удельная теплоемкость при замораживании запишется в следующем виде

$$C_e(t) = c_0 - (c_w - c_i) w_0 \int_0^t \left| \frac{d\omega}{dt} \right| dt + L_w w_0 A \cdot e^{-k_1 t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2 t}}. \quad (\text{при } t < t_{кр}) \qquad (10)$$

$$C_e = c_0. \qquad (\text{при } t > t_{кр}) \qquad (10а)$$

Характер температурной зависимости удельной теплоемкости $C_e(t)$, описываемой уравнением (10), приведен на рис.4.

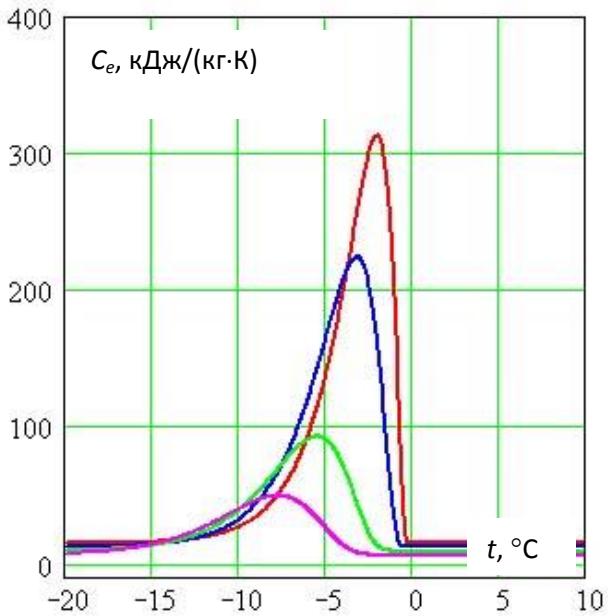


Рисунок 4 - Температурная зависимость эффективной удельной теплоемкости для коллоидных капиллярно-пористых материалов.

Как видно, предложенная модель температурной зависимости удельной теплоемкости гораздо ближе отражает экспериментальный характер кривых, приведенных на рис.2, чем классические модели Рауля и Чижова-Латышева (рис.1).

Из уравнения (10) нетрудно найти характерные точки скорости процесса кристаллизации. Положение максимума скорости кристаллизации (центр криоскопического интервала температур)

$$t_{кр} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}}, \qquad (11)$$

и максимальную скорость кристаллизации

$$\left| \frac{d\omega}{dt} \right|_{\max} = A \cdot \exp\left(-2\sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right). \qquad (12)$$

Подставляя (12) в (10), находим максимальную эффективную теплоемкость

$$C_{e\max} = c_0 - (c_w - c_i) w_0 \int_0^{t_{кр}} \left| \frac{d\omega}{dt} \right|_{\max} dt + L_w w_0 A \cdot \left| \frac{d\omega}{dt} \right|_{\max}. \qquad (13)$$

Зная экспериментальные значения величин $C_{e\max}$, $t_{кр}$, c_0, а также теплофизические свойства воды (c_w, c_i, L_w), можно определить эмпирические константы уравнения скорости кристаллизации A, k_1, k_2. Учитывая, что приближенное значение для интеграла

$$\int_0^{t_{кр}} \left|\frac{d\omega}{dt}\right|_{\max} dt \approx \frac{t_{кр}}{2}\left|\frac{d\omega}{dt}\right|_{\max}, \tag{14}$$

из (13) находим максимальную скорость кристаллизации

$$\left|\frac{d\omega}{dt}\right|_{\max} = 2\frac{C_{e\max} - c_0}{2L_w - w_0(c_w - c_i)t_{кр}}. \tag{15}$$

Выражая из уравнений (11), (12) коэффициенты k_1, k_2 через известные экспериментальные величины $|d\omega/dt|_{\max}$ и $t_{кр}$, вместо уравнения (8) получаем

$$\left|\frac{d\omega}{dt}\right| = A\cdot\exp\left[-\sqrt{\frac{1}{2}\ln\left(\frac{A}{|d\omega/dt|_{\max}}\right)}\cdot\left(\frac{t^2 + t_{кр}^{\ 2}}{t\cdot t_{кр}}\right)\right]. \tag{16}$$

Оставшийся неизвестный коэффициент A определяется из условия нормировки для доли вымороженной влаги, а именно

$$\int_0^{|t_{эвт}|} A\cdot\exp\left[-\sqrt{\frac{1}{2}\ln\left(\frac{A}{|d\omega/dt|_{\max}}\right)}\cdot\left(\frac{t^2 + t_{кр}^{\ 2}}{t\cdot t_{кр}}\right)\right]dt = 1\cdot \tag{17}$$

Влага в пищевых продуктах находится в динамическом взаимодействии с дисперсной фазой и может менять свою энергию связи в процессах замораживания-размораживания вследствие процессов денатурации белков, превращения полисахаридов и ферментативных реакций. Комплекс этих процессов не может быть описан в рамках теории вымораживания истинных растворов, что является причиной расхождений теоретических и экспериментальных для эффективной (полной) теплоемкости пищевых продуктов в процессе процессах замораживания-размораживания.

Процесс кристаллизации в коллоидных капиллярно-пористых телах, к которым относятся пищевые продукты, следует рассматривать как наложение двух конкурирующих процессов – вымораживание свободной влаги (основной процесс) и конкурирующий процесс - увеличение энергии межмолекулярного взаимодействия для связанной влаги, которое проявляется как увеличение вязкости системы и гелеобразование.

Предложена математическая модель кристаллизации при замораживании коллоидных капиллярно-пористых тел, которая учитывает эти процессы и позволяет определить кинетические коэффициенты модели на основании экспериментальных данных об эффективной теплоемкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов И. А., Куцакова В. Е., Филиппов В. И., Фролов С. В. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы).— 2-е изд., перераб. и доп. — М: Колос, 1999. — 176 с.

2. Оніщенко В.П. Наукові основи процесів та апаратів холодильної технології харчових продуктів. Дис... д-ра техн. наук: 05.18.14.- Одесса, 2000. - 415 с.

3. Постольски Я., Груда3. Замораживание пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1978.- 608 с.

4. Потапов В.А. Кинетика явлений переноса в процесс сушки: монография/ LAPLAMBERT Academic Publishing, Deutschland/ Германия. – 2013. - 319 с.

5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. X. / Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 536 с.

УДК 621.515

ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНИ ХОЛОДИЛЬНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА ПРИ РАБОТЕ НА ХЛАДОНАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Коротков В.А., к.т.н., Татаренко Ю.В., к.т.н.,
Санкт-Петербургский исследовательский университет национальный информационных технологий, механики и оптики Институт холода и биотехнологий, Российская Федерация
E-mail: lavrtat@mail.ru

В продолжении работ [1, 2], в связи с нетеряющей актуальности проблемы применения озонобезопасных хладонов в холодильной технике [3], а в частности – в компрессорах динамического

принципа действия, проведено экспериментальное исследование на базе кафедры холодильных машин и низкопотенциальной энергетики НИУ ИТМО с целью определения влияния физических свойств сжимаемого газа на характеристики ступени холодильного центробежного компрессора.

В качестве рабочего вещества исследовалась смесь криптон-ксенонового концентрата при различных значениях показателя изоэнтропы k_y = 1,62; 1,49; 1,36; 1,2 и 1,12. При данном рассмотрении индекс «*y*» показывает, что анализ ведется в рамках метода условных температур [4], при котором реальный газ в рассматриваемой области заменяется идеальным с индивидуальной шкалой условных температур $T_y = zT$, где z – коэффициент сжимаемости.

Рабочее колесо имеет следующие геометрические параметры, представленные в табл.1. Лопаточный диффузор с числом лопаток $z_3 = 22$ имеет параллельные стенки, развитой безлопаточный участок с относительным диаметром при входе $\bar{D}_3 = 1{,}15$ [5]. Лопатки симметричного аэродинамического профиля относительной толщиной 7% и средней линией, изогнутой по дуге окружности, установлены под углом $\alpha_{3л} = 14^\circ$. Относительный диаметр при выходе диффузора $\bar{D}_4 = 1{,}385$. Отношение ширины диффузора к ширине колеса при выходе $b_3/b_2 = 1{,}0$. За лопаточным диффузором установлена кольцевая камера.

Таблица 1 – Геометрические характеристики колеса

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Значение
1.	Наружный диаметр колеса, D_2	м	0,305
2.	Диаметр рабочего колеса на входе, D_1	м	0,1662
3.	Диаметр расточки покрывающего диска колеса, D_0	м	0,163
4.	Входной угол перед лопатками, β_1	град.	30
5.	Угол выхода лопаток рабочего колеса , β_2	град.	45
6.	Ширина рабочего колеса на входе, b_1	м	0,00252
7.	Ширина рабочего колеса на выходе, b_2	м	0,0010
8.	Число лопаток колеса, $z_{1,2}$	шт.	24/12

Полученные характеристики исследованной ступени представлены на рис.1 – 3.

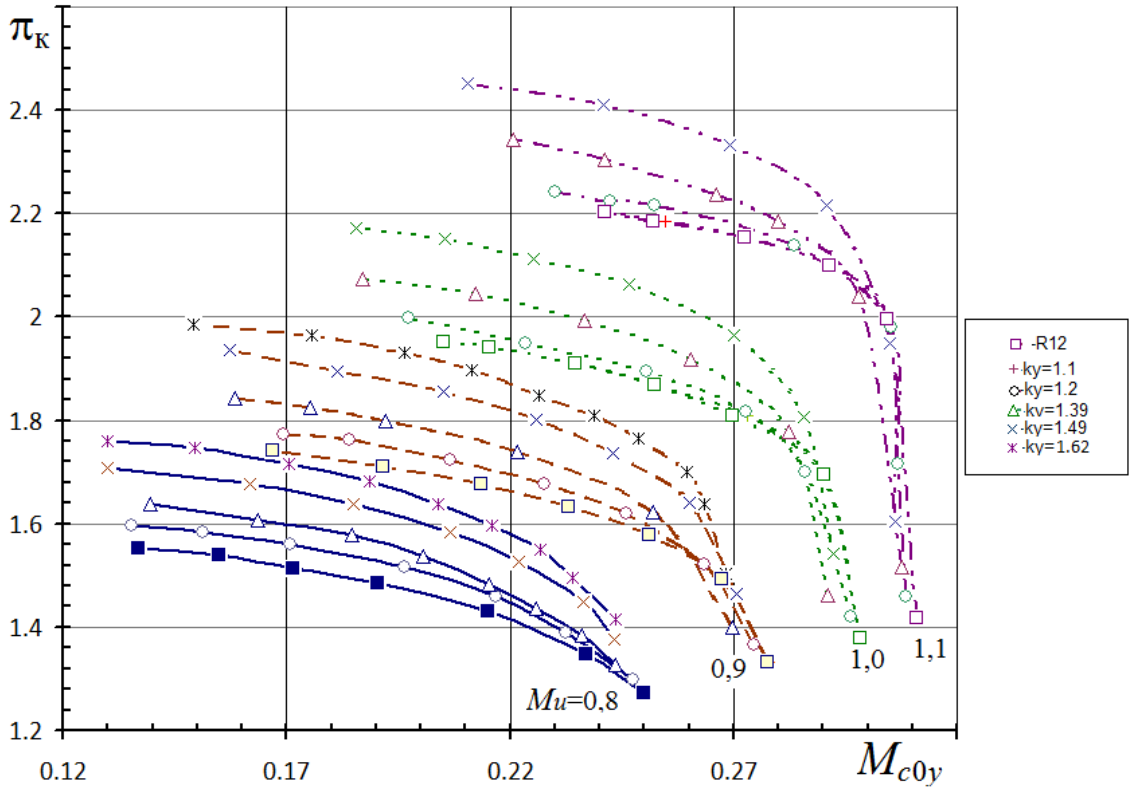


Рисунок 1 – Зависимость $\pi_к = f\,(M_{c0y}, M_u)$ при различных значениях k_y

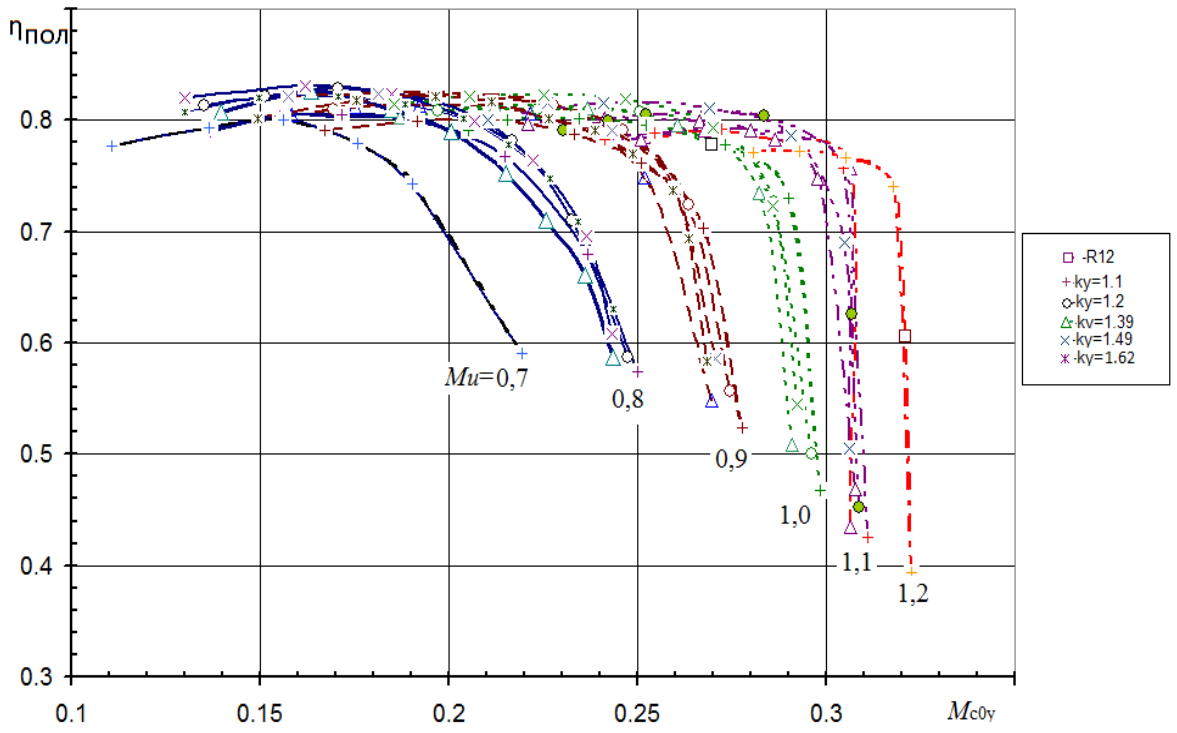


Рисунок 2 – Зависимость $\eta_{пол} = f\,(M_{c0y}, M_u)$ при различных значениях k_y

На рис.1 представлены зависимости $\pi_к = f\,(M_{c0y}, M_u)$ от различных значений условного показателя изоэнтропы k_y. Хорошо видно, что увеличение числа k_y во всем исследованном диапазоне приводит к росту отношения давлений, причем к тем большему, чем больше число Маха.

Из характеристики $\eta_{пол} = f\,(M_{c0y}, M_u)$ (см. рис. 2) видно, что максимальная величина к.п.д. при всех исследованных значениях k_y практически одинакова. Увеличение числа Маха по окружной скорости до 1,2 приводит к тому, что с ростом k_y значение максимального к.п.д. также растет, однако это связано с тем, что при малых k_y характеристики ступени короче и помпаж наступает прежде, чем достигается минимум коэффициента потерь колеса.

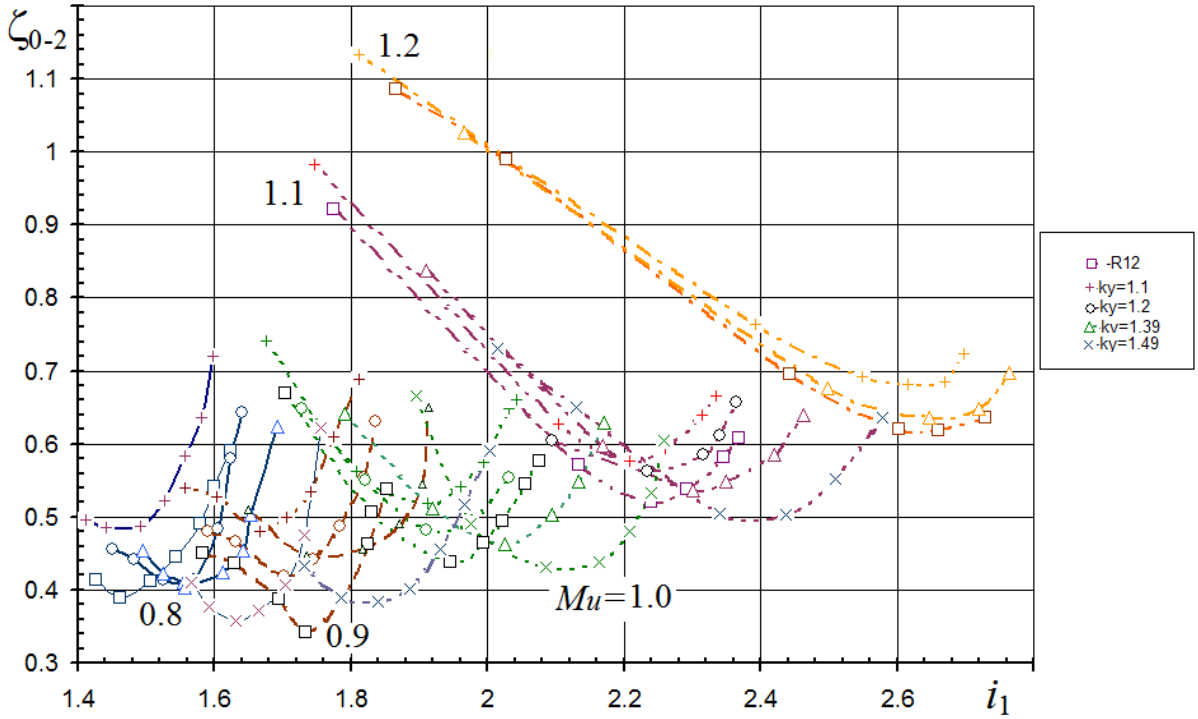


Рисунок 3 – Зависимость $\zeta_{0-2} = f\,(i_1, M_u)$ при различных значениях k_y

При числе Маха по окружной скорости меньше 1,2 область совместной работы колеса и лопаточного диффузора лежит в зоне минимальных значений коэффициента потерь колеса (см. рис. 3), хотя при этом с ростом k_y она сдвигается в сторону больших производительностей. Поэтому и максимальные значения к.п.д. практически не отличаются друг от друга.

Проанализировав полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод, что влияние k_y на интегральные характеристики ступеней проявляется по-разному и зависит от особенностей согласования работы элементов проточной части.

При $k_y \leq 1{,}2$ характеристики ступеней от значения показателя изоэнтропы практически не зависят. Это дает основание распространить результаты исследования ступени холодильного центробежного компрессора на все хладагенты, у которых k_y находится в этих пределах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков В.А., Татаренко Ю.В. Перспективы применения осерадиальных колес во фреоновых холодильных центробежных компрессорах.// Вестник Международной академии холода.- 2015.- № 3.- С. 50 – 53.

2. Коротков В.А., Татаренко Ю.В. Безразмерные характеристики осерадиального колеса центробежной компрессорной ступени.// Вестник Международной академии холода. - 2014.- № 4.- С. 44 – 47.

3. Цветков О.Б. Хладагенты на посткиотском экологическом пространстве. // Холодильная техника. - 2012.- №1.- С.70-72.

4. Бухарин Н.Н. Моделирование характеристик центробежных компрессоров. – Л.: Машиностроение, 1983 – 214 с.

5. Коротков В.А., Татаренко Ю.В. Безразмерные характеристики осерадиального колеса центробежной компрессорной ступени.// Вестник Международной академии холода. - 2014.- № 4.- С. 44 – 47.

УДК 579.674

ИЗУЧЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ ХЛЕБНЫХ ЗАКВАСОК

Сабитова Ж.М., Савкина О.А., г.Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: julyasabitova@mail.ru, 1103savkina@mail.ru

Молочнокислые бактерии составляют обширную группу микроорганизмов, которые образуют молочную кислоту в качестве основного продукта брожения. Чаще всего они встречаются в молоке и молочных продуктах, на растениях и разлагающихся растительных остатках, в мясных и рыбных продуктах, на поверхности почвы возле корней растений, в кишечнике и на слизистых оболочках животных и человека. Кроме того, молочнокислые бактерии встречаются в хлебных закваскаx и тесте.

Роль молочнокислых бактерий в брожении теста была впервые установлена М.Ф.Поповым (1887 г.). Из-за большой сложности определения видовой принадлежности и отсутствия единой классификации одни и те же виды молочнокислых бактерий нередко получали различные названия. Согласно современной классификации молочнокислые бактерии относятся к семейству *Lactobacillaceae*, роду *Lactobacillus* [1].

Молочнокислые бактерии играют ведущую роль в брожении ржаных хлебных заквасок и в обеспечении качества хлебобулочных изделий с использованием ржаной муки. В пшеничном тесте они принимают определенное участие в накоплении кислотности теста, образовании вкусового и ароматического комплекса хлебобулочных изделий.

Традиционные технологии хлебобулочных изделий с использованием ржаной муки предусматривают применение биологических заквасок. Закваска представляет собой полуфабрикат хлебопекарного производства, полученный сбраживанием питательной смеси (водно-мучной, осахаренной мучной заварки) молочнокислыми бактериями (или пропионовокислыми бактериями) и хлебопекарными дрожжами[2].

Чистые культуры дрожжей и молочнокислых бактерий являются важным ингредиентом для приготовления хлебных заквасок хорошего качества. В хлебопекарной промышленности чистые культуры имеют большое практическое значение. Основным сырьем хлебопекарного производства является мука и зерновые продукты. Они содержат чрезвычайно богатую и разнообразную микрофлору, в которой дрожжи и молочнокислые бактерии составляют незначительную часть. Микроорганизмы, попадающие в хлеб с сырьем, могут отрицательно влиять как на процесс брожения,

так и на качество самого хлеба. Нужное направление процесса брожения возможно только при наличии в закваске или тесте дрожжей и молочнокислых бактерий в доминирующем количестве. Внесение в полуфабрикат хлебопекарного производства чистых культур специфических микроорганизмов позволяет быстро и надежно стабилизировать доминирующую микрофлору, обеспечить нормальное брожение и гарантировать надлежащее качество полуфабрикатов и готовых изделий.

Чистые культуры заквасочных микроорганизмов, развиваясь в биологических закваскаx, способствуют формированию физико-химических (кислотность, пористость) и органолептических (вкус, запах) показателей хлеба, обеспечивают его микробиологическую чистоту, особенно при увеличении сроков хранения и при переработке муки с повышенной микробной обсемененностью[3].

В Санкт-Петербургском филиале ФГБНУ НИИХП с 1946г существует уникальная коллекция молочнокислых бактерий и дрожжей для хлебопекарной промышленности, официально внесенная в перечень коллекций, депонирующих для государственных нужд непатогенные микроорганизмы, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24.06.96 №725-47 и Приказом Минсельхозпрод России от 15.08.96 №14с [1, 3]. Чистые культуры микроорганизмов из коллекции имеют большую практическую ценность и широко используются на хлебопекарных предприятиях РФ и стран ближнего зарубежья для приготовления заквасок[2].

Большинство штаммов молочнокислых бактерий из коллекции были идентифицированы до вида в 70-х годах XX века в соответствии с имеющимися на тот момент методиками и данными систематики бактерий. В настоящее время в СПбФ ФГБНУ НИИХП ведется работа по разработке паспортов на промышленноценные штаммы молочнокислых бактерий и дрожжей с учетом их фенотипических, биохимических и генетических особенностей для включения во Всемирный каталог коллекций культур микроорганизмов.

При паспортизации коллекции большое значение имеет изучение физиолого-биохимических свойств промышленноценных штаммов молочнокислых бактерий. Эти показатели важны для контроля за качеством микробного материала, а также при разрабатке новых технологий промышленных заквасок с заранее заданными свойствами.

Подбор чистых культур позволяет разрабатывать новые виды заквасок и активно воздействовать на качество готовых изделий. При отборе чистых культур микроорганизмов для закваски необходимо учитывать целый комплекс критериев: физиологические, биохимические и биотехнологиические свойства культур, способность проявлять антагонизм к посторонней микрофлоре и развиваться в определенных условиях, а также безопасность их для человека.

В связи с этим, изучение одной из важных промышленноценных характеристик коллекционных штаммов молочнокислых бактерий - их бродильной активности, о которой можно судить по изучению ферментативной активности, является актуальной задачей.

Целью настоящих исследований явилось изучение ферментативной активности коллекционных штаммов молочнокислых бактерий, используемых для густых и жидких хлебных заквасок.

Для определения активности молочнокислых бактерий была использована методика косвенного определения активности молочнокислых бактерий в чистом виде и в закваске применением индикатора, восстановленная форма которого под действием ферментов микроорганизмов изменяет окраску. Косвенно ферментативную активность молочнокислых бактерий характеризует также кислотообразование в процессе брожения в сусле или закваске.

Объектами исследований являлись 11 штаммов молочнокислых бактерий рода Lactobacillus для густых и жидких заквасок из Коллекции для хлебопекарной промышленности Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ НИИХП.

Для определения ферментативной активности чистые культуры молочнокислых бактерий выращивали на солодовом сусле с 12% сухих веществ при оптимальной для каждого штамма температуре (30 и 37°С). Через 24 и 48 ч отбирали по 10 мл каждой культуры в две пробирки. В опытную пробирку добавляли по 1 мл 0,05%-ного водного раствора метиленовой сини. Содержимое пробирки тщательно перемешивали до равномерного распределения красителя. Вторая пробирка служила контролем. Обе пробирки помещали в водяную баню при температуре 40^0С.

Для определения ферментативной активности молочнокислых бактерий в закваске отбирали навеску массой 10 г, тщательно растирали в ступке с двукратным количеством воды, предварительно нагретой до 40^0С, приливая воду постепенно небольшими порциями. Приготовленную пробу по 10 г переносили в две пробирки, в одну из которых добавляли 1 мл 0,05%-ного водного раствора метиленовой сини.

Об активности молочнокислых бактерий судили по скорости перехода голубой окраски метиленовой сини в бесцветную, аналогичную с цветом средней части пробы в контрольной пробирке.

Кроме того, определяли титруемую кислотность чистых культур и заквасок по количеству 0,1 NNaOH, затраченному на титрование10 г навески, разведенной в 100 мл дистиллированной воды в присутствии фенолфталеина.

В результате исследований установлено, что ферментативная активность разных видов и штаммов молочнокислых бактерий значительно отличается (рис. 1). Даже у разных штаммов одного вида отмечаются существенные различия в скорости обесцвечивания индикатора. Так, у штаммов *L.plantarum 30* и *L.plantarum 52АН* время осветления раствора было в два раза меньше, чем у штамма *L.plantarum 63*.

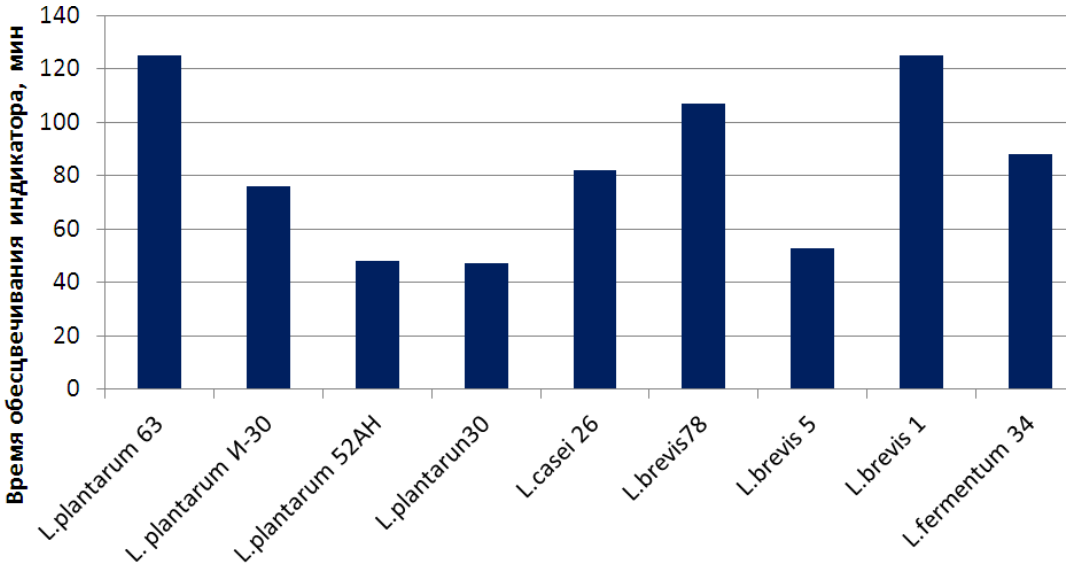


Рисунок 1 – Время обесцвечивания метиленового синего у разных штаммов молочнокислых бактерий

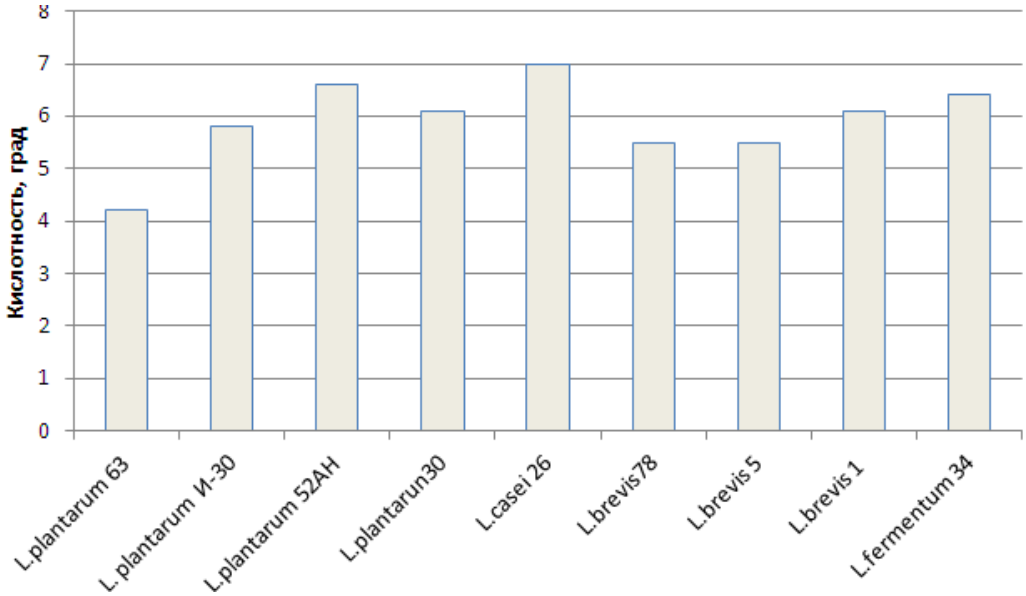


Рисунок 2 – Титруемая кислотность культуральной жидкости разных штаммов молочнокислых бактерий

Кроме того, исследования показали, что скорость обесцвечивания индикатора не зависит от титруемой кислотности культуральной жидкости исследуемых штаммов молочнокислых бактерий. Так, например, при одинаковой титруемой кислотности (6,1 град), время обесцвечивания индикатора у штамма *L.brevis 1* было в два раза больше, чем у *L.plantarum 30*. В связи с эти в дальнейших

исследованиях необходимо изучить pH и окислительно-восстановительный потенциал культуральной жидкости исследуемых штаммов.

Таким образом, в результате исследований установлена ферментативная активность коллекционных штаммов молочнокислых бактерий для густых и жидких ржаных заквасок. Полученные данные являются важной характеристикой бродильной активности, которая будет указана в Паспортах молочнокислых бактерий, при включении их во Всемирный каталог коллекций культур микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева О. В. Микробиология хлебопекарного производства /О.В.Афанасьева; С. –Петер. Фил. Гос. НИИ хлебопекар. пром-ти (СПб Ф ГосНИИХП). –СПб.: Береста, 2003. – 220с.

2. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий. Под общ.ред. А.П. Косована – М.: Московская типография №2, 2008. – 271с.

3. Каталог культур микроорганизмов «Молочнокислые бактерии и дрожжи для хлебопекарной промышленности» из Коллекции Санкт-Петербургского филиала ГНУ ГОСНИИХП Россельхозакадемии / О.В. Афанасьева, Е.Н. Павловская, Л.И. Кузнецова – М.: Россельхозакадемия, 2008. – 98с.

УДК 621.575(088.8)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ АБСОРБЦИОННЫМИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ КАМЕРАМИ

Редунов Г.М., Титловв А.С., д.т.н., Гожелов Д.П.,
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина
E-mail: redgen@yandex.ru, titlow@mail.ru, gozhelov@mail.ru

Проблемы перехода на экологически безопасные хладагенты (поиск новых синтетических масел; низкая энергетическая эффективность новых экологически безопасных хладагентов; недостаточный профессиональный уровень разработчиков и обслуживающего персонала) заставляют разработчиков бытовой и торговой холодильной техники обращать внимание на охлаждающие приборы с абсорбционными холодильными агрегатами (АХА). Рабочее тело АХА – водоаммиачный раствор с добавкой инертного газа – водорода, гелия либо их смеси абсолютно экологически безопасно – имеет нулевые значения озоноразрушающего потенциала и потенциала «парникового» эффекта [1]. Вместе с тем производство абсорбционных холодильных аппаратов в различных странах мира составляет 5-10% от общего объема выпуска холодильных приборов, что связано с их повышенным (на 40-60%), по сравнению с аналогичными компрессионными моделями, энергопотреблением [2].

Анализ различных способов повышения энергетической эффективности холодильных аппаратов с АХА [3], показывает, что при современном уровне развития техники и технологий максимальный эффект энергосбережения может быть достигнут при оптимизации их режимов работы при помощи систем автоматического управления [4]. Основными задачами автоматического управления бытовых холодильных аппаратов с АХА является повышение их энергетической эффективности путем поддержания оптимального режима работы. Для рассматриваемых аппаратов критерий оптимальности должен учитывать возможность обеспечения требуемых эксплуатационных режимов при холодильном хранении и обработке продуктов.

Современный уровень развития электронной техники позволяет создавать всевозможные системы управления без каких-либо ограничений по сложности их алгоритмов. В настоящее время в бытовой холодильной технике получают развитие системы «разумного» управления, получившие название «Fuzzy Logic». Такие системы позволяют поддерживать заранее заданную температуру хранения с минимальным отклонением и, одновременно, снизить величину энергопотребления. Так, например, фирма «Electrolux» в новых моделях минибаров (RH340LD, RH341LD, RH355LD) с системами «Fuzzy Logic» добилась снижения энергопотребления, по сравнению с аналогами, до 40%.

В последнее время значительный интерес у пользователей, особенно в сельской местности, вызывают низкотемпературные камеры (НТК) абсорбционного типа (на базе АХА) с высоким термическим сопротивлением ограждающих конструкций - «суперизоляцией» (пенополиуретан толщиной 100 мм). В отличие от двухкамерных моделей, в которых жестко регламентировано соотношение температур в камерах, НТК потенциально имеют большие функциональные возможности,

т.к. могут применяться практически во всем диапазоне температур хранения (t_K), используемом в быту – от минус 18°С до плюс 12°С, т.е. стать универсальным холодильным прибором.

Реализация таких режимов в НТК с АХА не связана какими-либо принципиальными проблемами и может быть достигнута с помощью известных способов управления.

При выборе оптимального способа управления универсальной НТК с АХА необходимо учитывать следующие моменты.

Как и все холодильные аппараты универсальная НТК должна обеспечивать весь спектр температурных режимов хранения в «жестких» условиях окружающей среды ($t_{окр}$=32 °С). Очевидно, что наибольшие проблемы для АХА возникнут при реализации режима (не выше минус 18 °С). Теплоизоляционные покрытия камеры в этом случае должны быть спроектированы с учетом возможностей работы АХА в «жестком» режиме эксплуатации. Очевидно, что в «благоприятных» условиях эксплуатации универсальная НТК будет обладать некоторым «запасом» холодопроизводительности. Это связано со снижением теплопритоков из окружающей среды и улучшением условий реализации холодильного цикла, причем ниже будет $t_{окр}$ и выше температура в охлаждаемой камере ($t_к$), тем больше станет величина «запаса» возможностей АХА. В этом случае имеет место тенденция к снижению коэффициента рабочего времени и увеличению длительности нерабочего периода. Это приводит к дополнительному охлаждению транспортных элементов генераторного узла и, соответственно, к увеличению времени запуска, и к дополнительным энергозатратам, причем целесообразность прогрева элементов генераторного узла в нерабочем периоде здесь не очевидна из-за его длительности.

Одним из способов оптимального управления универсальной НТК может стать традиционный режим позиционного регулирования (отключение тепловой нагрузки на генераторном узле АХА в нерабочий период).

Разработка математической модели (ММ) универсальной НТК с АХА, работающих в режиме позиционного управления, включает структурную и параметрическую идентификацию переходных процессов (разгонных кривых). Структурная идентификация состоит в выборе ММ из набора моделей $\{S_к\}$, $S_к$ – ММ заданной структуры вида:

$$W_{an_1}(p)=\frac{K_o\, e^{-p\tau_o}}{T_o\, p+1} \quad (1) \qquad ; \qquad W_{an_2}(p)=\frac{K_o\, e^{-p\tau_o}}{T_o^2\, p^2+2T_o\, p+1}, \qquad (2)$$

где: K_o – коэффициент усиления объекта, К/Вт;

T_o и τ_o – соответственно, постоянные времени и запаздывания, с;

$p=\dfrac{d}{dt}$ – оператор Лапласа;

$W(p)$ – передаточная функция типового звена ТАУ, описывающего динамику объекта управления.

Экспериментальные кривые разгона обрабатывались по методу наименьших квадратов согласно известной методике [3].

На этапе параметрической идентификации выполнялась оценка параметров K_o, T_o и τ_o, характеризующих динамические и статические свойства процессов в АХА.

Точность идентификации оценивалась величиной σ – среднеквадратическим отклонением ошибки

$$\sigma^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{y_i^Э-y_i^T}{y_i^Э}\right) \qquad (3)$$

где: n – число экспериментальных точек переходной функции (кривой разгона);

$y_i^Э$, y_i^T – значения экспериментальных и п олученных по моделям (1) и (2) данных.

Точность идентификации экспериментальных данных передаточными функциями, приведенными в таблицах 1-4, составила 0,015…0,06 (т. е. 1,5…6 %).

Таблица 1 – Коэффициенты передаточных функций переходных процессов НТК с АХА $t_к$ = минус 18°С, $W = 70$ Вт, $t_{окр.} = 31$ °С

Номер датчика согласно рис.1	ММ переходного процесса	$K_о$, К/Вт	t, °С		Вкл. нагревателя		Выкл. нагревателя	
			min	max	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин
2	an 2	0,81	105	162	10	0	5	0
5	an 2	0,56	93	132	8	0	6	2
7	an 1	0,69	83	131	14		7	5
3	an 2	1,07	50	125	10	5	6	5
11	an 2	1	45	115	10	5	6	20
8	an 2	0,79	45	100	13	20	3	
10	an 2		46	60	12		12	0
9	an 1	0,17	37	49	10		8	
22	an 2	0,03	-25	-16,5	15	15	10	15
12	an 1	0,114	-26	-18	18	10	13	10
13	an 1	0,086	-23	-18	23	17	18	15
14	an 1	0,086	-21	-15	24	20	20	20
15	an 1	0,21	-7	8	30	30	22	20

Таблица 2 – Коэффициенты передаточных функций переходных процессов НТК с АХА $t_к$ = минус 12°С $W = 70$ Вт, $t_{окр.} = 31$ °С

Номер датчика согласно рис.1	ММ переходного процесса	$K_о$, К/Вт	t, °С		Вкл. нагревателя		Выкл. нагревателя	
			min	max	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин
2	an 2	0,89	100	162	7		7	5
5	an 2	0,71	80	130	9		8	7
7	an 2	1	60	130	9		9	10
3	an 2	1,1	45	122	10		8	10
11	an 2	0,96	45	112	12	5	7	5
8	an 2	0,71	45	95	12	30	2	5
10	an 1	0,20	46	52	20	20	13	5
9	an 2	0,17	36	48	4	5	10	5
22	an 2	0,029	-12,5	-10,5	10	12	13	10
12	an 1	0,157	-22	-11	30	10	17	10
13	an 1	0,086	-16	-10	27	20	20	12
14	an 1	0,065	-13	-8,5	30	25	22	15
15	an 1	0,09	10	16	35	40	10	20

Таблица 3 – Коэффициенты передаточных функций переходных процессов НТК с АХА $t_к$ = минус 6°С $W = 70$ Вт, $t_{окр.} = 31$ °С

Номер датчика согласно рис.1	ММ переходного процесса	$K_о$, К/Вт	t, °С		Вкл. нагревателя		Выкл. нагревателя	
			min	max	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин
2	an 2	0,86	100	160	4		8	
5	an 2	0,79	80	135	6		8	
7	an 2	0,86	70	130	6		8	
3	an 2	1,07	50	125	8		6	
11	an 2	0,93	50	115	12	10	3	
8	an 2	0,64	50	95	6	30	2	
10	an 2	0,086	47	53	12	10	10	

9	an 2	0,25	32	50	4		12	
22	an 2	0,03	-7	-5	6	20	6	15
12	an 1	0,17	-17	-5	16	5	16	5
13	an 2	0,071	-10	-5	8	15	12	5
14	an 2	0,043	-7	-4	10	16	12	5
15	an 2	0,03	16,5	18,5	4		7	

Таблица 4 – Коэффициенты передаточных функций переходных процессов НТК с АХА $t_к$ = плюс 12°С, $W = 70$ Вт, $t_{окр.} = 31\ ^\circ$С

Номер датчика согласно рис.1	ММ переходного процесса	$K_о$, К/Вт	t, °С		Вкл. нагревателя		Выкл. нагревателя	
			min	max	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин	$T_о$, мин	$\tau_о$, мин
2	an 2	1,43	60	160	10		20	
5	an 1	1,14	50	130	17		16	
7	an 2	1,14	50	130	10		14	
3	an 2	1	50	120	4	20	2	2
11	an 2	0,79	50	105	6		2	
8	an 2	0,25	35	52,5	5		10	
10	an 2	0,29	30	50	3	15	10	
9	an 2	0,32	27,5	50	4	12	14	
22	an 2	0,0286	11	13	8	20	16	15
12	an 1	0,214	-2,5	12,5	8	15	12	
13	an 2	0,071	8	13	9	15	18	5
14	an 2	0,057	10	14	15	15	20	10
15	an 2	0,057	21	25	17	15	20	10

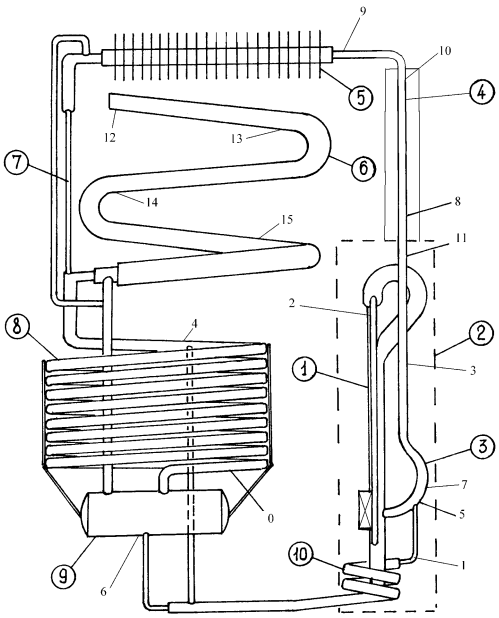


Рисунок 1 - Схема установки термопар на элементах АХА универсальной НТК
1 – термосифон; 2 – теплоизоляционный кожух генераторного узла; 3 – ректификатор; 4 – дефлегматор; 5 – конденсатор; 6 – испаритель; 7 – канал подачи жидкого аммиака на испаритель; 8 – абсорбер; 9 – бачок абсорбера; 10 – жидкостный теплообменник.

Выводы

1. Задача минимизации энергозатрат при эксплуатации универсальной НТК с АХА решается с помощью электронных систем управления (ЭСУ), адекватно и эффективно реагирующих на изменение эксплуатационных параметров (температуры окружающей среды и поступающих продуктов, степени загрузки холодильной камеры, условий охлаждения теплорассеивающих элементов).

2. Расчетное снижение энергозатрат при использовании ЭСУ в НТК с АХА составит от 12 до 36% (в зависимости от режима низкотемпературного хранения и условий эксплуатации).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титлов А.С. Сравнение характеристик абсорбционной и компрессионной бытовой холодильной техники // Холодильная техника и технология. –1997. – № 57. – С.39-41.

2. Титлов А.С. Современный уровень разработок и производства бытовых абсорбционных холодильных приборов // Холодильный бизнес. – 2007. – № 8. – С. 12-17; № 9. – С. 28-30; № 10. – С. 47-49; № 11. – С. 46-47.

3. Захаров Н.Д., Тюхай Д.С., Титлов А.С., Васылив О.Б., Халайджи В.Н. Проблемы энергосбережения в бытовой абсорбционной холодильной технике // Холодильная техника и технология. – 1999. – № 62. – С. 108-119.

4. Титлова О. А. Технологический процесс производства искусственного холода в абсорбционных холодильных приборах и задачи повышения его энергетической эффективности средствами автоматического управления // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2011. – Том 2. – Вип. 40 – С. 406-412.

5. Деклараційний патент № 59674А МПК^7 F 25 B 15/10. Морозильник / О.С. Тітлов, О.Б. Василів, М.Д. Захаров, С.М. Кудашев (Україна). – №2002119067; заявл. 14.11.02; опубл. 15.09.03, Бюл. № 9.

6. Дьяконов В.П. Справочник по применению системы EUREKA. – М.: Физмат, 1993. – 96 с.

УДК 641.528.6

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Потапов В.А., Семенюк Д.П.
Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков, Украина
E-mail: potapov@bigmir.net, dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Как известно, классическим уравнением, которым пользуются при расчете продолжительности процесса замораживания, служит формула Планка с принятием определенных допущений.

Существуют варианты формулы Планка для тел правильной формы [1-3]. В работе [4] были высказаны предположения, которые утверждают, что теоретически обоснованным путем для расчета продолжительности процесса охлаждения и замораживания является прямое решение трехмерной нестационарной краевой задачи теплопроводности. В основу формулы Планка положены следующие допущения: распределение температур по объему тела в процессе замораживания остается постоянным (квазистационарное приближение) и одноизмеримым, теплофизические характеристики тела остаются постоянными, перед началом замораживания тело охлаждено до криоскопической температуры, фронт замораживания перемещается симметрично от поверхности тела к его центру, выполняются предельные условия третьего рода на поверхности тела [5].

В работе [6] авторами была предложена модель замораживания в случае несимметричных предельных условий, которая имеет место в плиточных морозильных аппаратах при контактном замораживании.

Тем не менее, в существующих формулах не учитывается влияние подведения теплоты от центральной зоны продукта, которая при замораживания чаще всего имеет температуру выше криоскопической. При этом, чем интенсивнее проходит процесс охлаждения в аппарате, тем больший градиент температур по объему тела и больший дополнительный теплоподвод от центральных зон продукта. В этих условиях рассчитанная продолжительность замораживания за формулой Планка есть меньше, чем экспериментальная. Это приводит к преждевременному завершению процесса холодильной обработки продукта, а следовательно ухудшению его качества при дальнейшем хранении.

Цель и задача статьи заключается в получении нового приближенного метода решения задачи динамики нестационарного теплообмена и замораживание для тел произвольной формы при учете теплоподвода от центральной части тела, которая имеет температуру выше, чем криоскопическая.

Рассмотрим тело произвольной формы, которое охлаждается с внутренним источником теплоты. Внутренний источник теплоты действует на границе между замороженной и незамороженной частями тела при условиях симметричного теплообмена с предельным условием третьего рода (рис. 1).

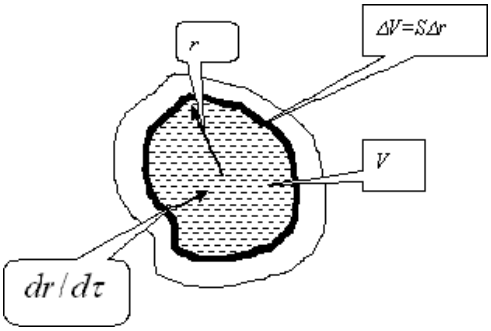


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса замораживания: $\Delta V=S\Delta r$ – объем, в котором происходит кристаллизация; V – объем незамороженного продукта; r – текущая координата фронта кристаллизации; $dr/d\tau$ – скорость продвижения фронта кристаллизации

Рассматривая условия, которые описывают наш случай, считаем теплофизические характеристики тела постоянными. Для любого бесконечного объема ΔV и любого фиксированного момента времени можно записать уравнение теплового баланса для тела, которое замораживается в виде

$$c \cdot \rho \cdot (\tfrac{d}{d\tau} T) \cdot V = j \cdot S - q \cdot \frac{\Delta m_f}{\Delta \tau}, \qquad (1)$$

где: c – удельная теплоемкость незамороженной части, Дж/кг·К;

ρ – плотность незамороженной части, кг/м^3;

V – объем незамороженной части, м^3;

S - площадь поверхности, которая охватывает объем ΔV, м^2;

$\frac{dT}{d\tau}$ - темп нагревания объема незамороженной части V, К/с;

j – тепловой поток от фронта кристаллизации в охлаждающую среду, Вт/м^2.

В данном уравнении $\Delta m_f = w \cdot \rho_w \cdot \Delta V \cdot A_f$ – замерзающая влага.

Осуществим некоторые подстановки

$$H = q \cdot w \cdot \rho_w \cdot A_f,\ \Delta V = S \cdot \Delta r,\ q \cdot \frac{\Delta m_f}{S \cdot \Delta \tau} = -\left[H \cdot (\frac{d}{d\tau} r) \right].$$

Сделаем допущение о постоянстве темпа охлаждения незамороженной области

$$\frac{d}{d\tau} \cdot T = T' = const.$$

Учитывая проделанные допущения и подстановки, можно записать уравнение теплового баланса для незамороженной области в виде дифференциального уравнения

$$c_c \cdot \rho_c \cdot (\frac{d}{d\tau} \cdot T) \cdot (S \cdot R) = \lambda_c \cdot \frac{T_c - T_k}{R} \cdot S \qquad (2)$$

где: T_C – температура центра незамороженной области;

T_k – криоскопическая температура;

λ_C – теплопроводность незамороженной части продукта.

Введем коэффициент формы тела Γ, исходя из следующего соотношения

$$R = \Gamma \cdot \frac{V}{S} \qquad (3)$$

для трехмерного тела, как в нашем случае $\Gamma=3$. В этом случае $R=const$, характерный размер тела.

Принимаем среднее значение темпа охлаждения незамороженной области объемом V постоянным и равным темпу охлаждения на момент достижения на поверхности тела криоскопической температуры.

Тогда можно записать

$$\frac{d}{d\tau}\cdot T = T' = \frac{\lambda_c}{c_c\cdot\rho_c}\cdot\frac{T_c - T_k}{R^2}. \qquad (4)$$

Запишем выражение для теплового потока от фронта кристаллизации в среду, которой охлаждается

$$j = \frac{T_k - T_0}{(\frac{1}{\alpha}) + (\frac{R-r}{\lambda})} \qquad (5)$$

где: T_0 – температура охлаждающей среды;

$r(\tau)$ – переменная по времени координата фронта кристаллизации;

λ – теплопроводность замороженной части продукта.

Учитывая вышесказанное, получим уравнение теплового баланса с подвижным фронтом для тела, которое замораживается

$$c\cdot\rho\cdot T'\cdot r = \frac{T_k - T_0}{(\frac{1}{\alpha}) + (\frac{R-r}{\lambda})} + H\cdot\frac{d}{d\tau}r\cdot \qquad (6)$$

$$-(\frac{d}{d\tau}x) = CH\cdot\left[\frac{BT}{1+Bi\cdot(1-x)} - T'\cdot x\right]. \qquad (7)$$

где

$$BT = \frac{a\cdot Bi}{R^2}\cdot(T_k - T_0),\ CH = \frac{c\cdot\rho}{H},\ a = \frac{\lambda}{c\cdot\rho},\ Bi = \frac{\alpha\cdot R}{\lambda},\ x = \frac{r}{R},\ Bi1 = 1 + Bi;$$

c – удельная теплоемкость замороженной части, Дж/кг·К;

ρ – плотность замороженной части, кг/м^3.

Решение дифференциального уравнения (7) при начальных условиях $\tau = 0$, $x = R$ имеет вид

$$-CH\cdot\tau = \frac{1}{2\cdot T'}\cdot\ln\left(\frac{T'\cdot Bi - T'\cdot Bi1 + BT}{T'\cdot x^2\cdot Bi - T'\cdot x\cdot Bi1 + BT}\right) - \frac{Bi1}{\sqrt{T'}\cdot\sqrt{-4BT\cdot Bi + T'\cdot Bi1^2}}\cdot$$

$$\cdot\left[a\tanh\left[\sqrt{T'}\cdot\frac{(-2\cdot Bi + Bi1)}{\sqrt{-4\cdot BT\cdot Bi + T'\cdot Bi1^2}}\right] + a\tanh\left[\sqrt{T'}\cdot\frac{(2\cdot x\cdot Bi - Bi1)}{\sqrt{-4BT\cdot Bi + T'\cdot Bi1^2}}\right]\right]. \qquad (8)$$

Из уравнения (8) вытекает расчетная формула для определения продолжительности замораживания (время достижения фронтом кристаллизации центра тела x=0).

$$\tau = \frac{-1}{2\cdot CH\cdot T'}\cdot\ln\left[\frac{(BT - T')}{BT}\right] - \frac{(1+Bi)}{\left[\sqrt{T'}\cdot\sqrt{(1+Bi)^2\cdot T' - 4\cdot BT\cdot Bi}\right]}\cdot$$

$$\cdot\left[a\tanh\left[\sqrt{T'}\cdot\frac{(-Bi+1)}{\sqrt{(1+Bi)^2\cdot T' - 4\cdot BT\cdot Bi}}\right] - a\tanh\left[\sqrt{T'}\cdot\frac{(1+Bi)}{\sqrt{(1+Bi)^2\cdot T' - 4\cdot BT\cdot Bi}}\right]\right]. \qquad (9)$$

Проведем проверку формулы (9), чтобы удостоверится, что она соответствует формуле Планка. Разложим τ при малых значениях темпа охлаждения $T`=0$.

$$-CH\cdot\tau = \left[\frac{-1}{(2\cdot BT)} - \frac{1}{2}\cdot\frac{(1+Bi)}{(\sqrt{-BT}\cdot\sqrt{Bi})}\cdot\left[\frac{1}{2}\cdot\frac{(-Bi+1)}{(\sqrt{\_BT}\cdot\sqrt{Bi})} - \frac{1}{2}\cdot\frac{(1+Bi)}{(\sqrt{-BT}\cdot\sqrt{Bi})}\right]\right] + 0(T'). \qquad (10)$$

Получим $-CH\cdot\tau = \frac{-1}{2}\cdot\frac{(2+Bi)}{BT}$, или

$$\tau = \frac{1}{2}\cdot\frac{H}{(T_k - T_0)}\cdot R^2\cdot\left[\frac{1}{\lambda} + \frac{2}{(\alpha\cdot R)}\right], \text{ или}$$

$$\tau = \frac{1}{2}\cdot\frac{H}{(T_k - T_0)}\cdot R\cdot(\frac{1}{\lambda}\cdot R + \frac{2}{\alpha}) \qquad (11)$$

Для того, чтобы рассчитать темп охлаждения, который определяется разностью температур в

центре тела и на его поверхности к началу момента кристаллизации, используем формулу, которая была получена в (7).

$$\frac{T-T_0}{T_1-T_0}=\Theta=\exp\left[\frac{-\Gamma\cdot F_0}{0{,}5\left[\frac{2}{Bi}+(1-x^2)\right]}\right] \tag{12}$$

где $F_0=\frac{a}{R^2}\cdot\tau$, $x=\frac{r}{R}$, $Bi=\frac{\alpha\cdot R}{\lambda_c}$, $a=\frac{\lambda_c}{c_c\cdot\rho_c}$.

Из уравнения (12) вытекает расчетная формула для определения продолжительности процесса охлаждения. При этом температура на поверхности тела (x=1) изменяется от начальной до криоскопической.

$$\tau_k=\frac{-\ln\left[\frac{(T_k-T_0)}{(T_1-T_0)}\right]}{\Gamma\cdot a}\cdot\frac{R^2}{Bi} \tag{13}$$

Тогда температуру в центре тела (x=0) можно рассчитать по формуле

$$T_c=(T_1-T_0)\cdot\exp\left[-2\cdot\Gamma\cdot F_{0_k}\cdot\frac{Bi}{(2+Bi)}\right]+T_0, \tag{14}$$

где $F_{0_k}=\frac{a}{R^2}\cdot\tau_k$.

В этом случае темп охлаждения незамороженной области определяется следующим образом

$$T'=\frac{\lambda_c}{c_c\cdot\rho_c}\cdot\frac{T_c-T_k}{R^2}, \tag{15}$$

где: T_c – температура незамороженной области;

λ_C – теплопроводность незамороженной части продукта;

c_c – удельная теплоемкость незамороженной части, Дж/кг·К;

ρ_c – плотность незамороженной части, кг/м^3.

Таким образом, предложенная методика расчета продолжительности охлаждения трехмерных тел в процессе симметричного теплообмена при учете теплоподвода от центральной части тела, которая имеет температуру выше за криоскопическую, описывает изменение температуры в центре тела и позволяет рассчитывать продолжительность процесса.

Изложенный в представленной работе подход к моделированию процессов замораживания может применяться при описании других способов замораживания.

Перспективой дальнейших исследований в этом направлении является экспериментальное подтверждение полученных теоретических выкладок, а также определение возможности применения изложенного подхода к решению других задач динамики тепло- и масообменных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П. Пищевая инженерия: Справочник с примерами расчетов: [пер. с анг.], под общ. ред. А.Л. Ишевского. – СПб: Профессия, 2004. – 848 с.

2. Cleland D.J. A generally applicable simple method for prediction of food freezing and thawing times. Proc. XVIII Int. Congr. Refrig. – 1991. – №4. – P. 1884 – 1887.

3. Hossain Md.M., Cleland D.J., Cleland A.C. Prediction of freezing and thawing times for foods of three-dimensional irregular shape by using a semi-analytical geometric factor. Int. J. Refrig. – 1992. – №15. – P. 241 – 246.

4. Чумак І.Г. Холодильні установки: підручник. за ред. І.Г. Чумака. – Одеса: Пальміра; 2006. – 522 с.

5. Pham Q.T. Simplified equation for predicting the freezing time of foodstuffs. J. Food Technol. – 1986. – №21. P. 209 – 219.

6. Потапов В.О., Семенюк Д.П. Математичне моделювання контактного заморожування. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць. / ХДУХТ. – Харків, 2008. Випуск 2 (8). – С. 443-450.

7. Потапов В.О., Сомов О.С. Наближена модель динаміки теплообмінних процесів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць. / ХДУХТ. – Харків, 2008. Випуск 2 (8). – С. 443-450.

УДК 577.637

ПРОДУКТ 21-ГО ВЕКА: АМАРАНТ КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Аргымбаева А.Е., к.т.н. Данилов Н.П., д.м.н., Шлейкин А.Г.
Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, Кафедра химии и молекулярной биологии, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: shleikin@yandex.ru, danilovn2005@yandex.ru, arginbaeva_azhar@mail.ru

История использования амаранта в качестве продукта питания и эффективного лекарственного средства насчитывает не менее 8000 лет. "Амарантовая" история одинаково уникальна и трагична. Это растение было широко распространено как продукт питания и символ поклонения у инков и ацтеков. Коренное население Центральной и Южной Америки считали "неувядающий" амарант божественной культурой и использовали амарантовое масло и семена амаранта в местных обрядах и жертвоприношениях.

Испанские конкистадоры-завоеватели решили, что уничтожив неотъемлемый атрибут этих жестоких обрядов - амарант, им удастся навсегда покончить и с бесчеловечной традицией приносить в жертву богам живых людей.

Выращивание, хранение и любое использование амаранта и продуктов его переработки было строжайше запрещено. Благодаря чему, ценнейшее и уникальнейшее растение, которое сегодня ученые, занимающиеся изучением свойств амаранта, называют не иначе, как "продуктом 21-го века", на долгие столетия было забыто на своей исторической родине.

Испанцы привезли это растение в Европу в конце 16-го века, но не зная о ценных свойствах амаранта как продукта питания и лекарственного средства, в Старом Свете его долгое время использовали лишь в качестве красивого декоративного растения.

При этом наибольшее внимание уделяется амаранту благодаря высокому содержанию в нем белка, сбалансированного по незаменимым аминокислотам, липидов, пектина, красящих пигментов, флавоноидов, амарантина и других физиологически активных веществ. Актуальность работ по изучению нетрадиционного лекарственного растительного сырья вызвана интенсивным развитием одного из направлений современной науки — химии возобновляемого растительного сырья. Такое внимание к биологически активным веществам растительного происхождения обусловлено увеличением числа случаев непереносимости синтетических лекарственных препаратов и антибиотиков, возникновением побочных явлений при их применении. [5]. Не менее важным является вопрос производства и применения масла из семян амаранта. Липидный комплекс этих семян отличается сбалансированным жирнокислотным составом, содержит биологически активные вещества (редкий для растений сквален, токоферолы, стеролы, фосфолипиды) в значительно большем количестве, чем масла других традиционных масличных культур. Масло амаранта содержит до 10 % сквалена, обладающего высоким терапевтическим эффектом, бактерицидной активностью и противоопухолевым эффектом. Вклад сквалена в регуляцию пролиферативных процессов обусловлен не только его внутриклеточной концентрацией, но и влиянием его на активность ферментов, катализирующих как синтез собственных молекул, так и биогенез общих предшественников всех физиологически активных изопреноидов. Кроме того, он участвует в биосинтезе ряда гормонов в животных организмах и сердечных гликозидов в растениях.

Следует отметить, что дефицитными аминокислотами зернобобовых растений являются лизин и метионин, которых в семенах амаранта содержится в два раза больше, чем в семенах других злаковых растений.

Показатели сравнительной питательной ценности амаранта и других культур представлены в таблице 1.

Показатель	Растительное сырье				
	Амарант	Рис	Кукуруза	Пшеница	Фасоль
Протеин, %	15,5-23	7,60	7,68	13,00	21,48
Аминокислоты, мг/100 г:					
триптофан	1,50	1,20	0,70	1,20	0,00
лизин	8,00	3,80	2,90	2,20	5,00
гистидин	2,50	2,10	2,60	2,20	3,10

аргинин	10,0	6,90	4,20	3,80	6,20
треонин	3,60	3,80	3,80	2,90	3,90
валин	4,30	6,10	4,60	4,50	5,00
метионин	4,20	2,20	1,40	1,60	1,20
изолейцин	3,70	4,10	4,00	3,90	4,50
лейцин	5,70	8,20	12,5	7,70	8,10
фенилаланин	7,70	5,00	4,70	5,30	5,40
Липиды, %	7,31	2,20	5,00	1,70	1,96
Зола, %	3,61	3,40	1,65	1,50	4,61
Кальций, %	0,14	0,02	0,01	0,02	0,15
Фосфор, %	0,54	1,18	0,27	0,41	0,41
Магний, %	0,22	0,08	0,13	0,10	0,19
Калий, %	0,57	0,12	0,48	0,40	1,30
Натрий, %	0,12	0,01	0,01	0,01	0,20
Медь, ppm	6,00	4,00	4,00	4,20	10,0
Марганец, ppm	12,0	7,00	7,00	28,0	8,00
Цинк, ppm	21,0	24,0	24,0	41,0	32,0
Энергетическая ценность, ккал/100 г продукта	439,0	364,0	361,0	354,0	361,0

Известен способ производства напитка на основе молочной сыворотки с экстрактом амаранта (патент РФ № 2451452) [3]. Технический результат достигается тем, что в напитке на основе молочной сыворотки, полученном брожением осветленной, пастеризованной молочной сыворотки, используется растительный компонент - водный экстракт амаранта Amaranthuspaniculatus L., полученный из листьев и побегов, подслащивающее вещество - сахароза и дрожжевая закваска, представляющая собой суточную культуру хлебопекарных дрожжей Saccharomycescerevisiae, выращенную на сыворотке, при следующем содержании исходных компонентов, мас.%: экстракт амаранта - 0,5-3; сахароза 4-6, дрожжевая закваска 3-5.

Внесение экстракта амаранта в сыворотку перед сбраживанием способствует повышению биологической ценности напитка благодаря содержанию биологически активных веществ в экстракте амаранта: аминокислот, микроэлементов, витаминов, протеинов, пектина, флавоноидов, а также улучшению органолептических свойств напитка: полученный напиток приобретает вкус и аромат хлеба, при этом сывороточный привкус не проявляется.

Содержание в сыворотке водного экстракта из листьев и побегов амаранта способствует повышению скорости роста дрожжей и увеличению накопления дрожжевой биомассы на 12-15%, поэтому он может быть использован для ускорения процесса брожения в бродильной промышленности при производстве кваса, пива, вина и спирта.

Известно также использование амаранта в качестве лекарственного препарата. Амарант относится к числу лекарственных растений, издавна применяющихся в народной медицине и обладающих широким спектром вторичных метаболитов и веществ, проявляющих фармакологические свойства. Многие классы химических соединений амаранта или мало изучены, или не изучены вовсе. Амарант включен в список растений американской фармакопеи. Действующими веществами амаранта как лекарственного растения являются фенольные соединения, в том числе антиоксиданты (витамины В, С и α-токоферол), флавоноиды (кверцетин, трефолин и рутин), гликозиды (алкалоиды — амарантин и бетанин), витамины, антидиуретические вещества, летучие вещества, обладающие аллелопатическими свойствами и пектины, обладающие детоксицирующими, радиопротекторными, бактерицидными свойствами. Масло из семян амаранта, содержащее сквален, обладает противоожоговым, ранозаживляющим действием и успешно используется в клинике детских болезней.

Надземная часть амаранта, обладающая антибактериальным действием, используется в домашних условиях в виде отваров для лечения простудных заболеваний, в виде настоек, а также в различных сборах лекарственных растений [4].

Технологии производства многих кисломолочных продуктов предусматривают введение пищевых добавок растительного происхождения [1]. Тем самым данная научно-исследовательская работа включает исследование получения кисломолочного продукта (йогурта) с внесением в него экстракта амаранта [2]. Широко распространённым молочным продуктом является йогурт. Этот продукт богат белком и содержит кальций, калий, витамины А, В и С, а также содержит лактобактерии, которые благоприятно воздействуют на работу кишечника, способствуя одновременно тому, чтобы предотвратить риск развития рака толстой кишки [6]. Целью научной

работы является исследование влияния амарантового экстракта и ТГ на структурные и органолептические свойства йогурта.

В работе было использовано пастеризованное молоко с содержанием белка 2,5% и жира 4%. ТГ использовалась в форме препарата TG Next с заявленной активностью 100 ед./г. В качестве закваски применялась сухая закваска AiBi 22.11 R3 (лиофилизированный концентрат Streptococcus *thermophilus, Lactobacillus bulgaricus* – $5.0*10^{10}$ КОЕ/г). Амарантовый экстракт был приготовлен следующим образом: вносили 30 г амаранта в 300 мл нагретого до 50°С молока, выдерживали. Суспензию центрифугировали на лабораторной центрифуге с фактором разделения К = 3000 в течение 5 мин. Полученный экстракт декантировали и пастеризовали при 72°С в течение 20 с. Йогурт готовили термостатным способом. Молоко подогревали до 37°С, разливали по трём стеклянным ёмкостям объёмом 0,35 л, добавляли амарантовый экстракт и ТГ следующим образом: 1 – контрольный (300 мл молока), 2 – образец йогурта с амарантовым экстрактом (200 мл молока + 100 мл амарантового экстракта), 3 – образец йогурта с амарантовым экстрактом, приготовленный с добавлением ТГ в концентрации 4 ед./г белка (0,1%): 200 мл молока + 100 мл амарантового экстракта + 0,3 г ТГ). Смеси перемешивали, помещали в термостат при 37°С на 1ч. После этого молоко из ёмкости 3 пастеризовали при 95°С в течение 5 мин (для прекращения действия ТГ). Охлаждали до 37°С. Затем во все образцы вносили сухую закваску йогуртовых культур в расчёте 1г/1л. Образцы перемешивали, помещали в термостат при 37°С, сквашивали 4 – 5 часов до кислотности 90 – 100 °Т.

Вязкость полученных образцов йогурта измеряли на ротационном вискозиметре типа Брукфильда МТ-202 (ООО "Метротекс") с 4 роторами, позволяющими измерять вязкость в диапазоне 0 – 2000000 мПа*с, результаты представлены на рис. 1.

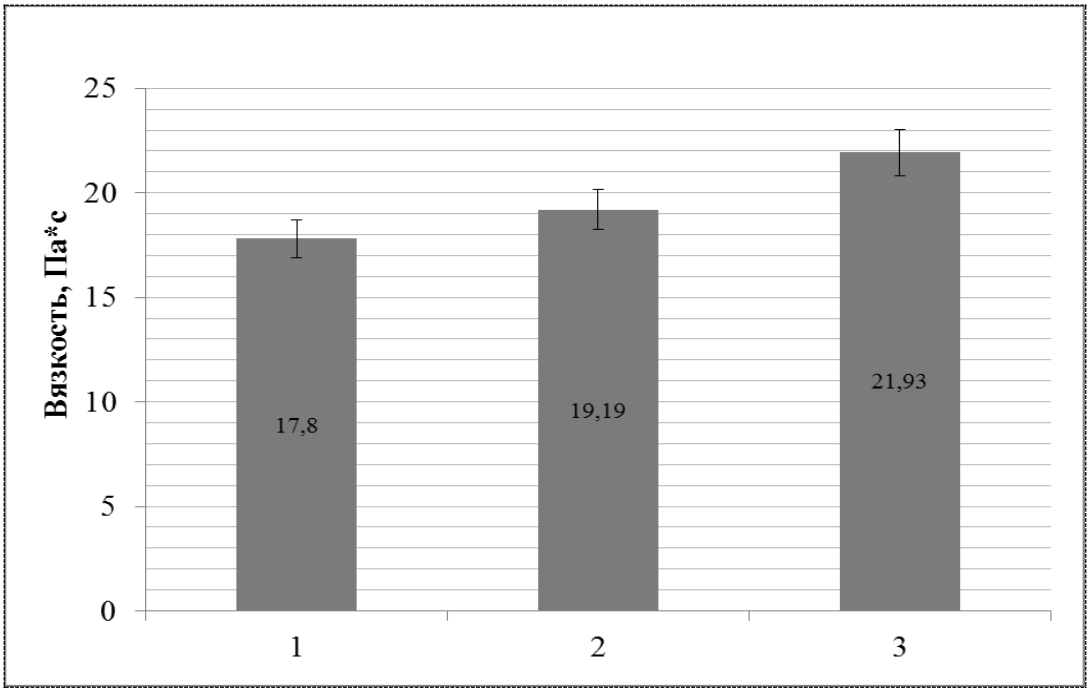


Рисунок 1 - Вязкость образцов йогурта: 1 – контрольный образец, 2 – образец йогурта с амарантовым экстрактом, 3 – образец йогурта с амарантовым экстрактом, приготовленный с добавлением 0,1 % ТГ.

Как видно из рисунка 1, значения вязкости образца йогурта с амарантовым экстрактом выше на 8% вязкости контрольного образца, а образца йогурта, приготовленного с амарантовым экстрактом с добавлением ТГ в концентрации 4 ед./г (0,1%) на 23% превышали вязкость контрольного образца. Стабилизирующее действие амаранта объясняется переходом в экстракт амаранта ценных растительных белков. Образец йогурта с амарантом с добавленной дополнительно ТГ показал ещё большее увеличение вязкости из-за ферментного связывания белков в молочно-растительной системе.

В ходе измерения структурных свойств были получены кривые усилие-время (g-s) и проанализированы с помощью программы TextureExponentApplication (StableMicroSystemsLtd, UK). Рассчитаны структурные параметры: прочность и работа пенетрации. Результаты рассчитывались как среднее из трёх измерений с учётом стандартного отклонения. Данные представлены на рисунке 2.

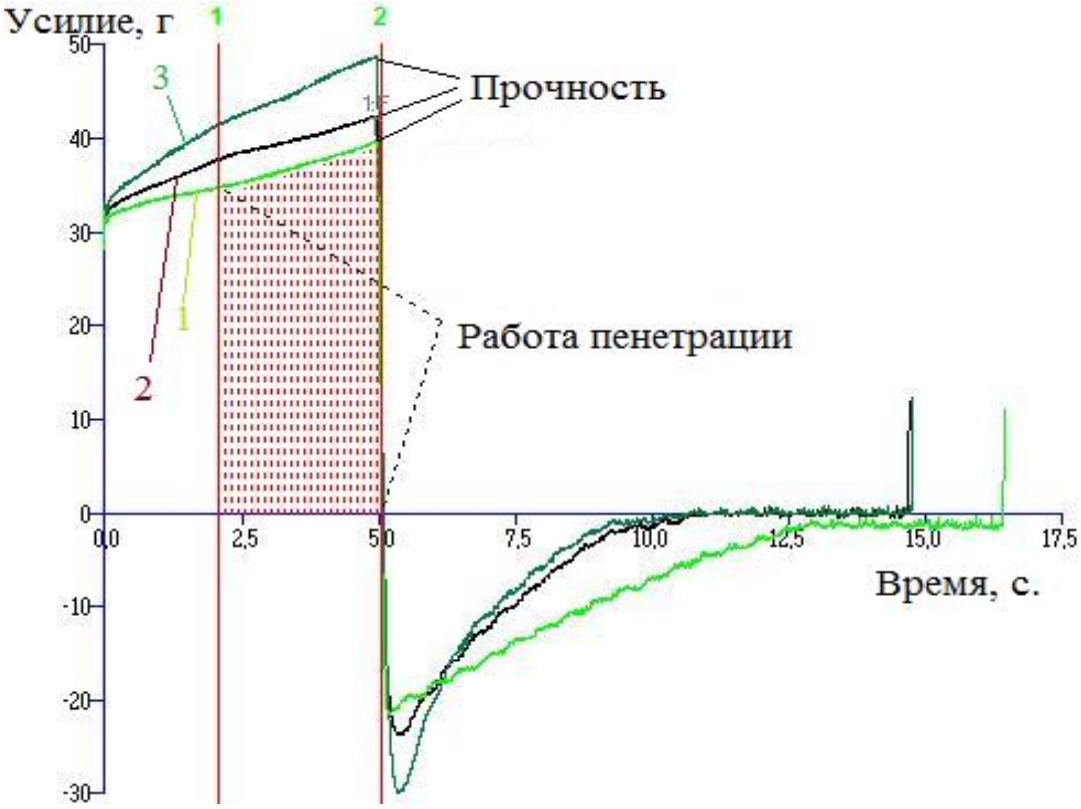


Рис. 2 - Определение прочности и работы пенетрациимногоигольчатым зондом: 1 – контрольный образец, 2 – образец йогурта с амарантовым экстрактом, 3 – образец йогурта с амарантовым экстрактом, приготовленный с добавлением 0,1 % ТГ.

Из рис. 2 следует, что прочность амарантового йогурта выше прочности контрольного на 6%, а прочность амарантового йогурта с ТГ выше на 18%, чем прочность контрольного. Работа пенетрации зонда по погружению в амарантовый йогурт на 63% выше работы пенетрации зонда по погружению в контрольный, работа пенетрации зонда по погружению в амарантовый йогурт с ТГ выше на 89% по сравнению с контрольным. Увеличение вязкости структурных показателей йогурта с ТГ связано с образованием поперечных ε-(γ-глутамил)лизиновых связей в молочных белках под действием фермента.

Тем самым, применение амарантового экстракта и ТГ в производстве йогурта ведёт к увеличению вязкости, улучшению структурных и органолептических свойств продукта. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования ТГ и амаранта для получения йогурта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков Ю.В. Разработка технологии извлечения масла из семян амаранта с высоким содержанием биологически ценных компонентов: дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук.- СПб, 1999.

2. Соколенко Г.Г., Вострикова Т.В., Полянский К.К. Патент RU 2451452 Напиток на основе молочной сыворотки с экстрактом амаранта. Опубл.: 27.05.2012 Бюл. № 15. – 5 с.

3. Гульшина В.А. Биология развития и особенности биохимического состава сортов амаранта (Amaranthus L.) в Центрально-Черноземном регионе России: дисс. на соиск. уч. степ. канд. биолог. наук.- Мичуринск, 2008.

4. Храмцов А.Г., Брыкалов А.В., Головкина Е.М., Герасимова Т.В., Белик Е.В. Молочная промышленность // Научно-технический и производственный журнал, 2008. - № 12.- С. 71.

5. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Рыков С.В. Улучшение структурных свойств йогурта с помощью амарантового экстракта и трансглутаминазы // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2015. - № 3(25). - С. 14-21.

6. Отчет о лечебно-профилактическом действии йогурта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// http://gazeta.ua/ru/articles/science-life/_cem-polezen-jogurt-dlya-zdorovya-/304100 (дата обращения 22.01.2016 г.)

УДК 621.514

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВСАСЫВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА

Носков А.Н., д.т.н., Стешина Ю.Г.
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Российская Федерация
E-mail: dn.noskoff@rambler.ru

Энергетическая эффективность паровых холодильных машин в значительной степени зависит от эффективности работы компрессоров.

В настоящее время в холодильной технике широко применяются маслозаполненные винтовые компрессоры (ВКМ).

Наличие масла в рабочей полости винтовых компрессоров позволяет получить высокие значения КПД, снизить частоту вращения роторов, уменьшить уровень шума. Однако наличие масла в холодильной машине, как правило, отрицательно влияет на работу теплообменных аппаратов [1,2].

Испытания кожухотрубных испарителей, проведенные на кафедре холодильных машин НИУ ИТМО, показали, что при работе на R22 без примеси масла коэффициенты теплопередачи гладкотрубного испарителя в 1,7-2 раза выше по сравнению со средними значениями коэффициентов теплопередачи маслофреоновой смеси [3]. В кожухотрубном испарителе с медными оребренными трубами, работающем на чистом R22, коэффициент теплопередачи повысился в 1,5... 2 раза по сравнению с работой на маслохладоновой смеси [4].

Процесс конденсации R22 в кожухотрубном конденсаторе холодильной машины без смазки характеризуется более высокими значениями коэффициента теплопередачи. При одинаковых плотностях теплового потока и скоростях охлаждающей воды коэффициент теплопередачи возрастает на 30-60% [3].

Исследования по влиянию масла на потери давления во всасывающем трубопроводе фреоновых холодильных машин показали, что падение давления во всасывающем трубопроводе при прохождении маслофреоновой смеси возрастает в 2-10 раз при скорости потока и концентрации масла, характерных для холодильных машин [5].

Таким образом, применение винтовых компрессоров без масла в рабочей полости - сухого сжатия (ВКС) позволяет исключить масло в холодильной машине, и сократить необратимые потери в процессах теплообмена между рабочим веществом и источниками низкой и высокой температур, а также в трубопроводах холодильной машины.

Увеличение быстроходности ВКС по сравнению с ВКМ улучшает массогабаритные характеристики компрессора.

Однако холодильные ВКС имеют более сложную конструкцию, чем ВКМ, требуют высокую частоту вращения роторов, имеют повышенный уровень шума.

Холодильные винтовые маслозаполненные компрессоры и компрессоры сухого сжатия постоянно совершенствуются, повышаются их объемные и энергетические характеристики, надежность и долговечность, степень автоматизации, одновременно уменьшаются габариты и металлоемкость, уровень шума и вибрации.

Создание холодильных винтовых компрессоров с высокими технико-экономическими показателями требует исследования рабочих процессов компрессора с целью уменьшения газодинамических потерь в рабочих органах, а также определения оптимальных газодинамических параметров компрессора. Особого внимания заслуживает исследование процесса всасывания с целью решения вопроса по определению оптимальной величины углов всасывания [2].

Рабочей полостью винтового компрессора является парная полость, образованная впадинами ведущего (ВЩ) и ведомого (ВМ) винтов. Основным видом гидравлических потерь являются потери на трение при движении пара по винтовым каналом. Утечки через линии контакта винтов занимают часть объема парной полости и приводят к повышению температуры пара в процессе всасывания [6].

Влияние этих факторов, а также центробежных сил, приводит к снижению массы пара в конце процесса всасывания, при этом действительная производительность винтового компрессора уменьшается. Потери на всасывании увеличивают работу, затрачиваемую компрессором при сжатии рабочего вещества до заданного давления нагнетания, т.е. в значительной степени определяют и энергетические потери в компрессоре [7].

Характер протекания процесса всасывания существенно зависит от выбора углов всасывания со стороны ведущего и ведомого винтов. Величина углов всасывания по рекомендациям работы [2,8,9] принимается из условия достижения парной полостью своего максимального объема. После этого момента полость ВМ винта, до начала сжатия, поворачивается вокруг оси винта без изменения объема, причем в ней, вследствие утечек, происходит возрастание давления. Рабочую полость винтового компрессора в этом процессе можно рассматривать как тупиковый винтовой канал, в котором в момент полного освобождения полости и достижения потоком пара торца нагнетания возникает газовый удар с последующим распространением волны сжатия в направлении от торца нагнетания к торцу всасывания. В результате газового удара возникает возрастание давления в винтовом канале.

Повышение давления в процессе всасывания в результате газового удара положительно влияет на объемные и энергетические показатели винтового компрессора.

Увеличение угла всасывания со стороны ведомого винта рассчитывают таким образом, чтобы отсечение впадины от окна всасывания происходило в момент достижения волной торца всасывания по формуле [2]

$$\Delta\alpha_{2в} = \frac{2\pi l_{2ц} n_2}{a_1 - c}\ , \tag{1}$$

где: n_2 – частота вращения ведомого винта; $l_{2ц}$ – длина канала (полости) ведомого винта; a_1 – скорость звука; c – средняя скорость движения пара в полости ведомого винта.

Определим величины углов $\Delta\alpha_{2в}$, рассчитанных для условий реального газа.

Так как ударная волна перемещается со скоростью звука, следует определить ее величину для условий реального газа. В качестве уравнения состояния воспользуемся уравнением Боголюбова-Майера, которое имеет вид [10]

$$p\upsilon = RT\left(1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i}\frac{b_{ij}}{\tau^j}\rho^i\right), \tag{2}$$

где: b_{ij} – коэффициенты; $\tau = \dfrac{T}{T_{кр}}$ - приведенная температура; ρ - плотность газа.

Выражение для определения скорости звука в реальном газе получено на основе уравнения Боголюбова-Майера. Для определения скорости звука в газе была определена связь между изохорной c_v и изобарной c_p теплоемкостью [11]

$$a = \sqrt{-\upsilon^2\frac{c_p}{c_\upsilon}\left(\frac{\partial p}{\partial \upsilon}\right)_T} \tag{3}$$

В качестве выражения для соотношения теплоемкостей была взята известная из термодинамики формула [11]:

$$c_p - c_\upsilon = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_\upsilon\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial T}\right)_p, где$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_\upsilon = \frac{R}{\upsilon}\left[1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i}(1-j)b_{ij}\frac{\rho^i}{\tau^j}\right] \tag{4}$$

$$\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial T}\right)_p = \frac{\upsilon}{T}\frac{1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i}(1-j)b_{ij}\frac{\rho^i}{\tau^j}}{1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i}(1+i)b_{ij}\frac{\rho^i}{\tau^j}}$$

Изохорная теплоемкость для условий реального газа определяется из выражения [11]

$$c_\upsilon = c_{\upsilon ид} + T\int_{\infty}^{\upsilon}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2}\right)_\upsilon \partial\upsilon, a$$

$$\left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2}\right)_\upsilon = \frac{R}{T_{кр}}\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i} j(j-1)b_{ij}\frac{\rho^{i+1}}{\tau^{j+1}} \tag{5}$$

Перейдя от удельного объема к плотности, получаем формулу для изохорной теплоемкости

$$c_\upsilon = c_{\upsilon ид} - R\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{S_i}\frac{j(j-1)}{i}b_{ij}\frac{\rho^i}{\tau^j}.$$

Изохорная теплоемкость в состоянии идеального газа задается в виде аппроксимации экспериментальных данных полиномом вида [11]

$$c_{\upsilon ид} = \sum_{i=0}^{n} d_i \tau^i, \qquad (6)$$

где d_i – коэффициенты полинома.

Расчет скорости звука для условий идеального газа производится по формуле

$$a = \sqrt{kRT}, \qquad (7)$$

где: k – показатель изоэнтропы; R- газовая постоянная.

Был произведен расчет скоростей звука для хладагентов $R22$, который показал их существенное расхождение для условий реального и идеального газа.

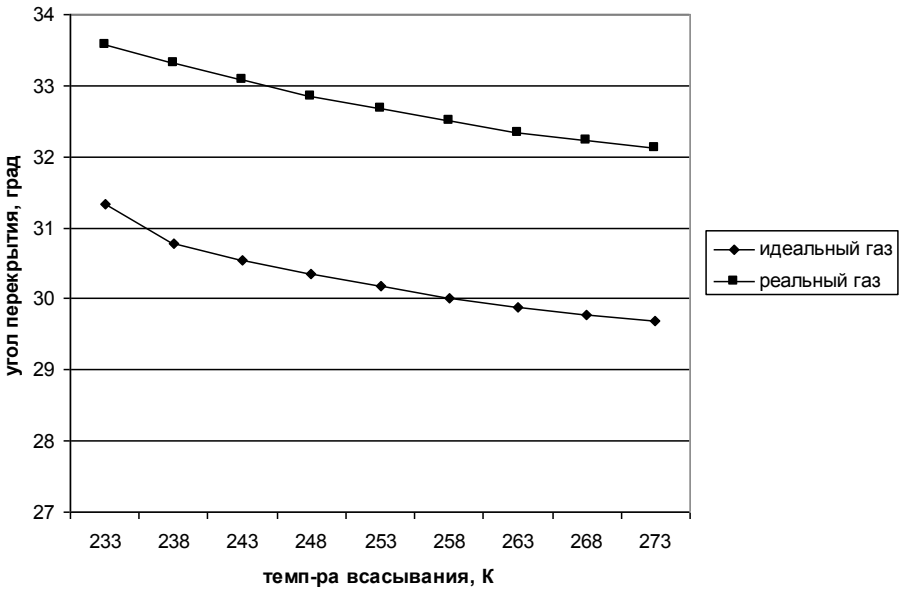


Рис. 1 - Угол перекрытия окна всасывания ведомого винта для ВКМ на $R22$

Полученные значения скоростей звука для условий реального газа позволяют определить новые значения углов перекрытия. Углы перекрытия для ведомого винта $\alpha_{пер}$ определены для компрессора, имеющего следующие геометрические характеристики: профиль зубьев – асимметричный СКБК; внешние диаметры винтов $D_1 = D_2 = 200$ мм; относительная длина винтов $K_l = 1{,}35$; относительный ход ВЩ винта $\overline{H_1} = H_1 / D_1 = 1{,}6$ [12].

Значения углов перекрытия $\Delta\alpha_{2в}$ представлены на рис. 1 в виде зависимостей от температуры всасывания.

При определении угла перекрытия важно проверить, выполняется ли условие, при котором величина угла перекрытия не должна превышать величину угла переноса.

Угол переноса определяется по формуле

$$\Delta\alpha_{пер} = i_{21}(\alpha_{1в} + 2\frac{2\pi}{z_1}) - \Theta_4 - \beta_{02} - \tau_{2з}, \qquad (8)$$

где i_{21} - передаточное отношение, $\alpha_{1в} = 280^0$ - угол всасывания ведущего винта [5]. Θ_4 - угол тыльной части впадины ведомого винта; β_{02} - угол между линией центров и лучом, проведенным от центра ведомого винта к гребню расточки винтов; $\tau_{2з}$ - угол закрутки ведомого винта.

Полученные значения углов перекрытия удовлетворяют этому условию, и, следовательно, эффект газодинамического наддува используется эффективно.

Таким образом, учет реальности компримируемого газа позволяет уточнить величины углов перекрытия и углов всасывания со стороны ведомого винта, и тем самым увеличить эффективность работы холодильного винтового компрессора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курылев Е.С., Гермсимов Н.А. Холодильные установки. - Л.: Машиностроение, 1980. -618 с.

2. Холодильные машины: Учебник /Под редакцией Л. С. Тимофеевского – СПб: Политехника, 2006 – 944 с.

3. Кошкин Н.Н., Сысоев В.Л., Аксенов с.П. и др. Холодильная машина с поршневым компрессором без смазки // Холодильная техника. -1979. -№4. -С. 18-21.

4. Богданов С.Н. Теплообмен при кипении фреона внутри горизонтальных труб // Холодильная техника. -1964. -№12. -С. 40-42.

5. Мельцер Л.З., Чейлях В.Т., Чек А.А. Исследования процессов переноса масла во всасывающих и нагнетательных трубопроводах холодильных фреоновых машин // Холодильная техника. -1980. -№4. -С. 41-45.

6. Носков А. Н., Зимков А.А. Расчет процесса всасывания маслозаполненного холодильного винтового компрессора. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». -2012. -№1.

7. Носков А.Н., Зверев Д.И., Тарасенков Д. С. Расчет процесса нагнетания маслозаполненного холодильного винтового компрессора // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». -2014. -№1.

8. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И., Верный А.Л. Винтовые компрессорные машины. Справочник. Л.: Машиностроение, 1977. – 256с.

9. Сакун И.А. Винтовые компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 400 с.

10. Бухарин Н.Н. Моделирование характеристик центробежных компрессоров. Л.: Машиностроение. 1983. - 214 с.

11. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. -М.: Наука, 1979. - 512 с.

12. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И., Верный А.Л. Винтовые компрессорные машины: Справочник. -Л.: Машиностроение, 1977. - 256 с.

УДК 620.92.97

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В РЕГЕНЕРАТОРЕ С ДИСПЕРСНОЙ НАСАДКОЙ

Притула В.П., д.т.н., Потапов М.Д., к.т.н.,
Солодкая А.В., Одесса, Украина,
E-mail: ttte_onaft@ukr.net, ttte_onaft@ukr.net, a_solodkaya@mail.ru

Экономия топливно-энергетических ресурсов является определяющим фактором повышения конкурентоспособности продукции и снижения загрязняющего воздействия на окружающую среду [1,2]. В результате анализа тепловых потерь в энергетических и теплотехнологических установках различного назначения получено[1], что их значительную часть составляет физическая теплота уходящих газов, использование которой должно быть направлено на повышение тепловой эффективности самих установок, например, путем подогрева воздуха, идущего на горение. Воздухоподогреватель позволяет осуществить снижение температуры уходящих газов, что повышает КПД установки и, тем самым, обеспечивает экономию потребляемого топлива. Однако технико-экономическая целесообразность применения воздухоподогревателя не всегда оправдана, что связано, в основном, с низкими температурными напорами теплоносителей, большим гидравлическим сопротивлением аппарата, загрязнением поверхностей теплообмена со стороны греющего теплоносителя различными отложениями или ее разрушением за счет коррозии или эрозии. Анализ теоретических и экспериментальных работ, в которых исследованы тепловые процессы, определяющие эффективность работы таких теплообменников показал, что в настоящее время отсутствуют надежные общепринятые зависимости, которые послужили бы научной базой для разработки инженерной методики расчета воздухоподогревателей ' подобного типа и их широкому внедрению в промышленности.

Целью работы является представление методики для исследования теплообмена в теплообменнике-утилизаторе с движущимся плотным слоем насадки.

Для аналитического исследования процессов теплообмена составлена методика расчета теплообменника-утилизатора с дисперсной насадкой. Расчетная схема представлена на рис. 1. Цель расчета – определение площади теплоотводящей поверхности, поверхности слоя в контактном теплообменнике, геометрических характеристик аппарата и его массы. Расчеты проводились в два этапа. На первом этапе на основании приближенной методики, в которой использовались осредненные параметры, выполнялся конструкторский расчет. На втором этапе в результате численного решения краевой задачи о теплопереносе в аппарате рассчитывались поля температур, т.е. проводился его уточненный поверочный расчет [5]. В качестве исходных данных принимались расход воздуха, температуры и относительные влажности воздуха на входе и выходе из аппарата, размер и материал частиц дисперсного материала. Оптимальный расход дисперсного материала выбирали по рекомендациям [6]. Коэффициенты межкомпонентного тепло- и массообмена в движущемся слое, а также его аэродинамическое сопротивление рассчитывали по зависимостям [6], эффективные коэффициенты теплопроводности и диффузии – по [7].

В соответствии с двухкомпонентной гомогенной модели слоя, газовый и твердый компоненты рассматриваются как взаимодействующие квазигомогенные системы, характеризуемые эффективными коэффициентами переноса, различающимися в продольном (X) и поперечном (Y) направлениях. Теплообмен между твердым и газовым компонентами, а также между воздухом и боковыми поверхностями слоя, учитывался с помощью соответствующих коэффициентов теплоотдачи.

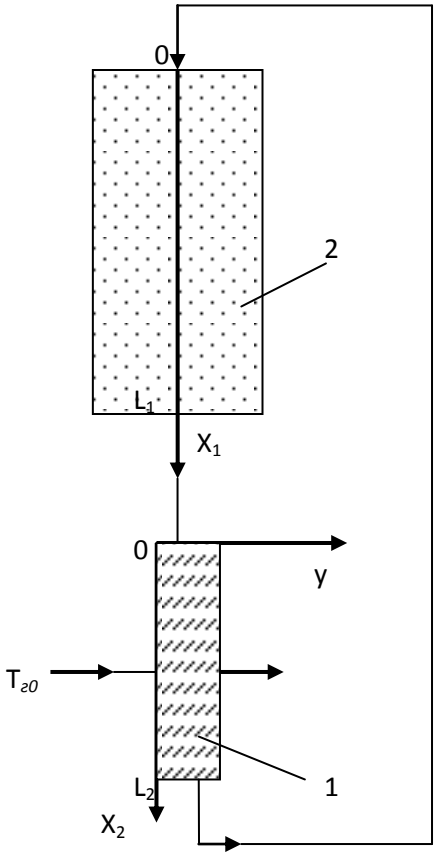


Рисунок 1 – Расчетная схема теплообменника с плотным слоем дисперсного материала.
1 – контактный теплообменник с дисперсным материалом, 2 – камера охлаждения дисперсного материала

Сопротивление переносу внутри элементов слоя принято пренебрежимо малым. Условия теплообмена на боковых границах слоя считались одинаковыми. Поскольку предполагалось, что боковые стенки камеры теплоизолированы, уравнение энергии формулировалось в одномерном приближении. Считалось также, что в обеих камерах порозность, скорость газа и насадки, физические характеристики компонентов постоянны.

Уравнение энергии для слоя в камере охлаждения имеет вид:

$$\left(c_m\rho_m(1-\varepsilon)+c_г\rho_г\varepsilon\right)(1-\beta_2)\frac{\partial t}{\partial \tau}=\lambda^*(1-\beta_1)\frac{\partial^2 t}{\partial x_1^2}-$$

$$-c_m\rho_m(1-\varepsilon)w_m^{'}\frac{\partial t}{\partial x_1}-\alpha_1 F_{cm}\left(t-t_{cm}\right) \qquad (1)$$

Краевые условия:

$$\tau=0,\ t=t_{oo};\ x_1=0,\ t=t'(\tau) \qquad (2)$$

$$x_1=L_1,\ \frac{\partial t}{\partial x_1}=0$$

Тепломассоперенос в контактном теплообменнике описывается следующей системой уравнений:

- энергии для газового компонента

$$c_г\rho_г\varepsilon\frac{\partial t_г}{\partial\tau}=\lambda^*_{гx}\frac{\partial^2 t_г}{\partial x_2^2}+\lambda^*_{гy}\frac{\partial^2 t_г}{\partial y^2}-c_г\rho_г w_г^{''}\frac{\partial t_г}{\partial y}-\alpha_M a\left(t_г-t_m\right) \qquad (3)$$

- энергии для твердого компонента

$$c_m\rho_m\left(1-\varepsilon\right)\frac{\partial t_m}{\partial\tau}=\lambda^*_{mx}\frac{\partial^2 t_m}{\partial x_2^2}+\lambda^*_{my}\frac{\partial^2 t_m}{\partial y^2}-c_m\rho_m(1-\varepsilon)w_m^{''}\frac{\partial t_m}{\partial x}-\alpha_M a\left(t_г-t_m\right)$$
$$+\beta_M a\left(r_к+r_{кр}\right)\left(Ed-f(t_m)\right) \qquad (4)$$

Краевые условия:

$$\left.\begin{array}{l}
\tau=0:\quad t_г=t_{гоо},\ t_т=t_{m00}\\
x_2=0:\quad \dfrac{\partial t_г}{\partial x}=0,\ t_m=t_{L_1}(\tau)\\
x_2=L_2:\quad \dfrac{\partial t_г}{\partial x}=0,\ \dfrac{\partial t_m}{\partial x}=0\\
y=0:\quad t_г=t_{г0}\quad -\lambda^*_{my}\dfrac{\partial t_m}{\partial y}=\alpha_{m0}\left(t_{m0}-t_{cm0}\right)\\
y=H:\quad -\lambda^*_{гy}\dfrac{\partial t_г}{\partial y}=\alpha_{г1}\left(t_г-t_{cm1}\right);-\lambda^*_{my}\dfrac{\partial t_m}{\partial y}=\alpha_{m1}\left(t_m-t_{cm1}\right)
\end{array}\right\} \qquad (5)$$

Здесь: $r_к$ - удельная теплота конденсации, $r_{кр}$ - удельная теплота кристаллизации, $f(t_2)$ - аппроксимация зависимости влагосодержания насыщенного воздуха от температуры, E - коэффициент аппроксимации, $w_m^{'}$ - скорость слоя в камере охлаждения, $w_m^{''}$, $w_г^{''}$ - скорости слоя и воздуха в контактном теплообменнике, H, L - толщина и высота слоя, x, y - продольная и поперечная координаты, 0 и 1 – соответствуют левой и правой границам, oo - начальным значениям параметров.

Для решения поставленной задачи был выбран численный метод конечных элементов [8]. Алгебраические уравнения решались относительно температур компонентов воздуха в узлах конечно-элементной сетки. Решение двумерных уравнений выполнялось в два этапа. На первом прогонкой по строкам решались уравнения для всех сеточных линий, параллельных оси y, на втором – для сеточных линий, параллельных оси x. При этом применялся итерационный метод, согласно которому для каждого временного слоя значения, полученные на данном итерационном шаге, использовались в следующей итерации. После достижения заданной сходимости результатов последовательных итераций осуществлялся переход к следующему временному слою. В качестве начального приближения итерационно уточняемых параметров принимались значения, определенные на предыдущем шаге по времени. Разработанный алгоритм является абсолютно устойчивым и обеспечивает второй порядок точности по координатам. Тестирование алгоритма проводилось путем машинного эксперимента. Контрольные расчеты, проведенные на различных сетках, показали, что

целесообразно использовать сетку $5мм \times 5мм$, т.к. ее дальнейшее измельчение приводит к изменению температур не более, чем на 2-3%, в то время как затраты машинного времени заметно возрастают.

В результате поверочных расчетов при стационарном и нестационарном режимах определяются локальные и средние температуры в различных сечениях, в том числе выходных, тепловые потоки.

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований являются базой для разработки методики инженерного расчета регенеративного воздухоподогревателя с перемещающимся плотным слоем насадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прутских Д. А. Гидродинамика и теплообмен в регенераторе с дисперсной насадкой. Автореферат дисс. на соискание уч. степени к.т.н. Специальность: 05.14.04- Промышленная теплоэнергетика. – Воронеж: 2009. – 22 с.

2. Бараков А.В. К расчету регенеративного воздухоподогревателя непрерывного действия / А.В. Бараков, Д.А. Прутских // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. -Т. 2. -№6. – С. 11-14.

3. Бараков А.В. Исследование теплообмена в регенераторе с дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. -№4. – С. 45-46.

4. Бараков А.В. Исследование тепловой эффективности регенеративного воздухоподогревателя с дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских // Промышленная энергетика. 2008. -№5. – С. 28-30.

5. Календерьян В.А., Гаппасов В.Р. Теплоперенос в воздухоохладителе с плотным движущимся слоем промежуточного теплоносителя. /IV Минский Межд. форум по тепломассообмену, Минск, 2000. Тезисы докладов и сообщений. Т.6. – С.175-182.

6. Горбис З.Р., Календерьян В.А. Теплообменники с проточными дисперсными теплоносителями. – М: Энергия, 1975.-294с.

7. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Гидравлические и тепловые основы работы. – Л.: Химия, 1979. – 176с.

8. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. – 318 с.

УДК 637.146

БИОТЕХНОЛОГИЯ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С РАСТИТЕЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

Скобелева И.И., Красникова Л.В., д.т.н., г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
E-mail: irkaskbeleva@rambler.ru, krasnikoval@yandex.ru

Теория о том, что статус здоровья человека напрямую зависит от питания, находит все большее подтверждение. В современном обществе, к сожалению, питание не решит проблему со стрессами, плохой экологией и т.д., но точно поможет купировать возможные последствия такого «урбанистического» образа жизни. Актуальность создания пищевых продуктов для пожилых людей заключается в том, что человеческое общество на данный момент четко дифференцировано на определенные возрастные группы, требующие создания многокомпонентных продуктов питания, способных выполнять определенные функции для заранее обозначенной категории граждан.

Изменения в пищеварительной системе пожилых людей накладывают некоторые условия на их рацион питания. Такими изменениями являются: утончение слизистой оболочки желудка; ухудшение секреторной и моторной функции; снижение кислотности желудочного сока. Следует отметить тот факт, что для поддержания нормального состояния и работоспособности организма необходимо сбалансированное питание. В пожилом возрасте отдельное внимание стоит уделить потреблению белка, в основном для регенерации клеток, а количество употребляемых жиров необходимо уменьшить. В употреблении углеводов особое внимание следует уделить пищевым волокнам. В продуктах, которые употребляют пожилые люди, должно быть достаточное количество витаминов: B_6, B_{12}, F, PP, Си микроэлементов: Ca, K, Mg, J. Важнейшими рекомендациями в геродиетическом питании являются:

- употребление кисломолочных напитков с пониженной массовой долей жира, обогащённых пробиотиками;

• обогащение продуктов питания для пожилых людей витамином С;

• употребление продуктов, содержащих пищевые волокна.

Целью представляемого исследования стала разработка рецептуры кисломолочного продукта геродиетической направленности. Для достижения заявленной цели были обозначены следующие задачи:

1. Создание рецептуры кисломолочного продукта для питания пожилых людей;
2. Изучение физико-химических и органолептических свойств готового продукта.

Объектами исследования явились молоко с пониженной массовой долей жира, ферментированное Streptococcussalivariussubsp.thermophilus,с добавлением защитных культур видов Lactobacillusrhamnosus, Lactobacilluspentosus и обогащенное гречневой мукой и экстрактом шиповника.

Рациональность выбора каждого компонента выражается в нескольких пунктах, так, например, гречневая мука была выбрана, как источник витаминов группы В, РР и таких важных микроэлементов для питания пожилых людей, как калий, кальций и магний. Эта мука является прекрасным источником железа и незаменимых пищевых волокон. Греча неоценимый источник растительного белка [1]. Второй компонент кисломолочного напитка – это биологически активное вещество – экстракт плодов шиповника, который богат витамином С, что является необходимым фактором для разработки продуктов геродиетической направленности. Экстракты на основе плодов шиповника повышают сопротивляемость организма при инфекциях, ослабевают развитие атеросклероза, обладают общеукрепляющим и тонизирующим действием. Кроме того, данный экстракт обладает желчегонным и имуннопротекторным действием[2,3]. Экстракт шиповника с сахаром вводился в продукт для улучшения органолептических свойств готового напитка.

В ходе исследования определяли титруемую кислотность по ГОСТ 3624-92, эффективную вязкость по ГОСТ 1929-87, влагоудерживающую способность сгустков – по Методике ВНИМИ, кроме этого была проведена сенсорная оценка готового продукта.

На рис. 1 представлен график титруемой кислотности образцов, где «Ит. зак» - Lactobacillusrhamnosus и Lactobacilluspentosus, греча была внесена в количестве 10%.

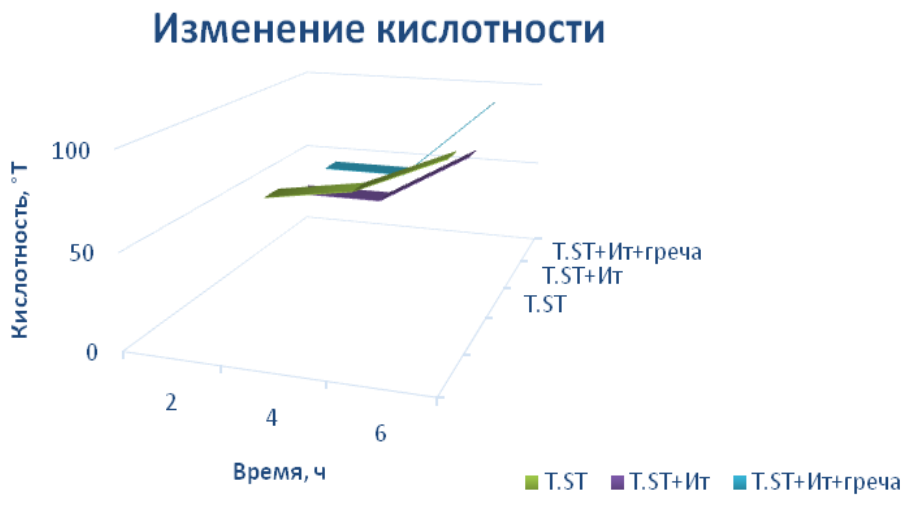


Рисунок 1 – Изменение титруемой кислотности

Из рисунка следует, что титруемая кислотность в образцах с гречневой мукой нарастала более активно, чем в контрольных образцах чистой закваски.

Время сквашивания в образце с добавлением гречи уменьшилось на 15%.

На рисунке 2 представлена влагоудерживающая способность в образцах с добавлением 5% и 10% гречи и без нее.

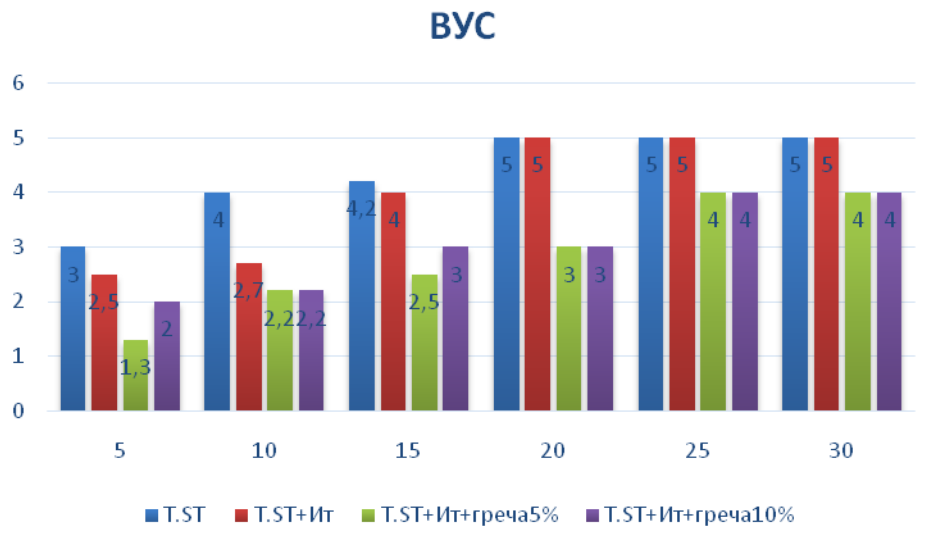


Рисунок 2 – Влагоудерживающая способность сгустков

Наилучшей влагоудерживающей способностью обладали образцы с добавлением гречи, что обусловлено наличием в гречневой муке большого количества пищевых волокон.

На рисунке 3 представлены результаты измерения эффективной вязкости на ротационном вискозиметре.

Рисунок 3 – Эффективная вязкость

Рис. 3 демонстрирует, что внесение гречневой муки повышает вязкость продукта и в целом благотворно влияет на улучшение органолептических свойств готового напитка.

Для выбора оптимального соотношения между компонентами наполнителя и определения органолептических показателей готового кисломолочного продукта был проведен ряд сенсорных экспериментов по следующим показателям: присутствие гречи, сладость, кислотность, цвет, консистенция. Благодаря органолептической оценке, был выявлен наилучший процент содержания гречневой муки и экстракта шиповника с сахаром. Выбор оптимального соотношения представлен в виде профилей вкуса на рисунке 4.

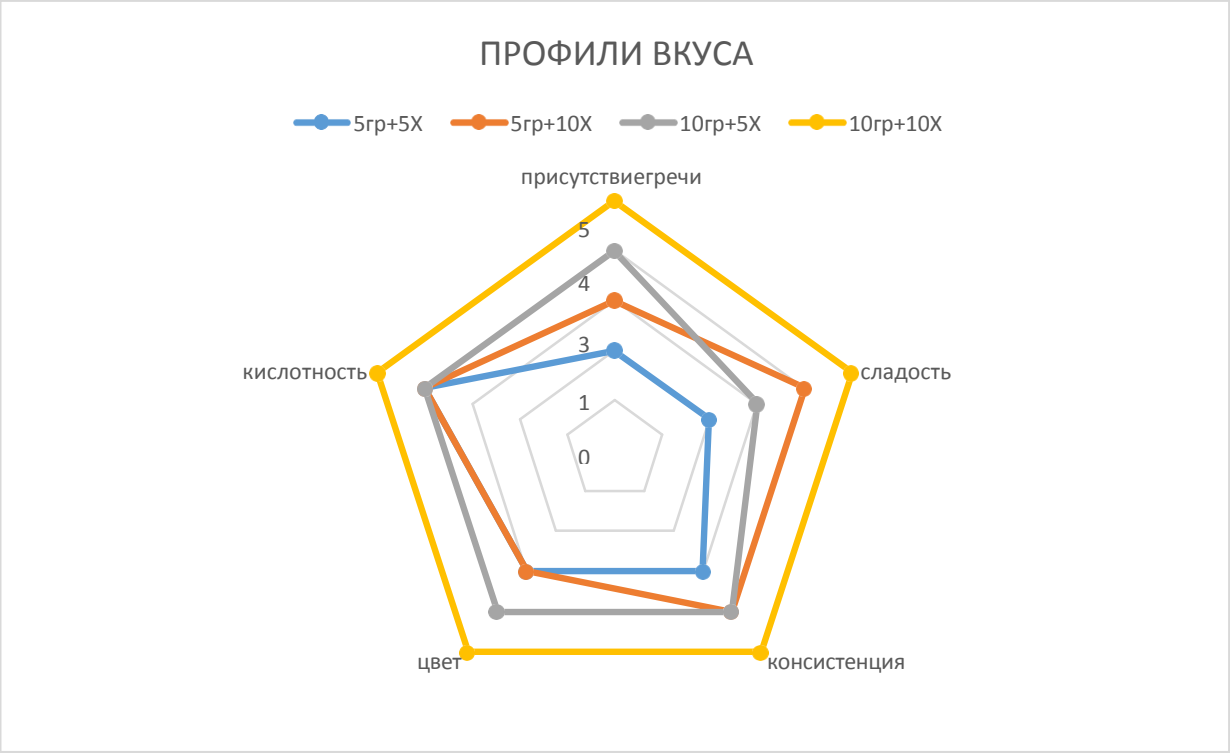


Рисунок 4 – Профили вкуса, где Х – экстракт шиповника с сахаром

Из рис. 4 следует, что наилучшим процентным соотношением гречневой муки и экстракта шиповника в качестве наполнителей является 10% гречневой муки + 10% экстракта с сахаром. Это обеспечивает готовому продукту приятный кисломолочный вкус с тонким привкусом гречи и необходимую сладость.

Благодаря всем проведенным исследованиям была разработана рецептура кисломолочного напитка для питания пожилых людей, которая представлена в таблице 1

Таблица 1 - Рецептура кисломолочного напитка

Наименование сырья	Норма, мл (г) на 100г продукта без учета потерь
Молоко 1%	75
Закваска жидкая	5
Экстракт Шиповника с сахаром	10
Гречневая мука	10

В заключении представляемой работы необходимо сказать, что готовый кисломолочный продукт удовлетворяет основным требованиям к продукту питания для пожилых людей, имеет оздоровительный и общеукрепляющий эффект при регулярном использовании. Напиток достаточно экономичен по себестоимости и являет собой пример продукта сложно-сырьевого состава для геродиетического питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурихин И. М., Волгарев М. Н. Химический состав пищевых продуктов. – Рипол Классик, 1987.

2. Большая иллюстрированная энциклопедия. Лекарственные растения. – Санкт-Петербург: СЗКЭО, 2014. – 224 с.

3. Носов А.М. Лекарственные растения. – М.: ЭКСМО-Пресс. – 2000. – 350 с.

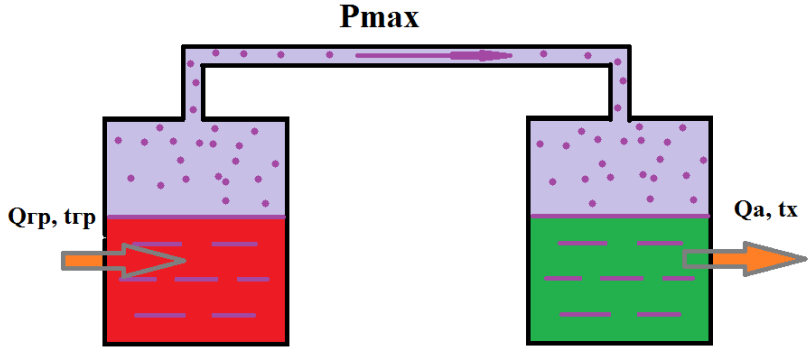
УДК 621.575:620.91:662.997

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗНАСОСНЫХ АВТОНОМНЫХ АБСОРБЦИОННЫХ ВОДОАММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

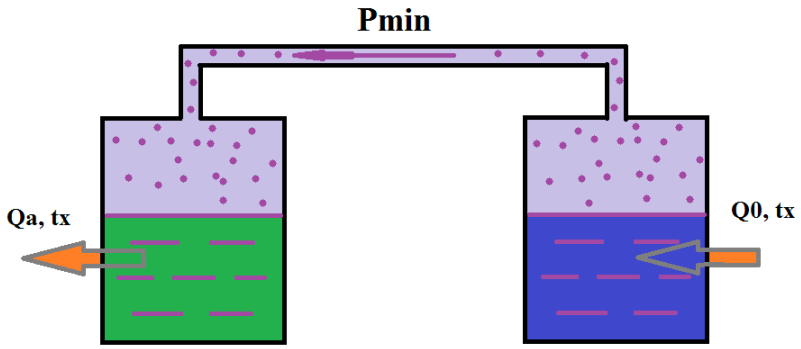
Титловв А.С., д.т.н., Озолин Н.Е., Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина,
Краснопольский А.Н., Ариэльский Университет, Ариэль, Израиль
E-mail: titlow@mail.ru, nikita_ozolin@mail.ru, krasnopolski@ariel.ac.il

Около 70 процентов поверхности земного шара покрыто водой, однако на 97,5 процента она состоит из соленой воды. Оставшиеся 2,5 процента приходятся на пресную воду, почти две трети которой находится в замороженном состоянии в ледниковых шапках. Между тем, основная часть пресной воды находится в 1 километровом слое атмосферы. По данным работы [1] средняя абсолютная влажность близ земной поверхности составляет 11 г/м^3, а в тропических регионах она доходит до 25 г/м^3 и выше. Большое количество стран тропического пояса страдает от отсутствия пресной воды, хотя ее содержание в атмосфере весьма значительно. Поэтому одной из важнейших задач является развитее технологий, позволяющих извлекать воду из воздуха, причем непосредственно на месте, где она необходима. Как показывает анализ [2], наибольшие перспективы имеют методы, связанные с работой генераторов искусственного холода – холодильных агрегатов, которые гарантировано обеспечивают температуру воздушного потока ниже температуры точки росы. Особый интерес среди различных холодильных систем представляют абсорбционные водоаммиачные холодильные агрегаты периодического действия (АВХА ПД), в которых при реализации холодильного цикла отсутствуют какие либо движущиеся элементы.

Схема потоков в АВХА ПД в различные периоды его работы приведена на рис.1. В период зарядки АВХА ПД, на генератор поступает тепловой поток $Q_{гр}$, при температуре $t_{гр}$. В начальный период, когда зоны АВХА ПД находятся при одинаковых температурах, равных температуре окружающей среды, состав рабочего тела (ВАР) одинаков в обеих зонах. Абсорбер-испаритель находится при температуре атмосферного воздуха ($t_{хол}$) и отводит теплоту абсорбции Q_a. В период зарядки (рис.1.а), происходит перемещение преимущественно легкокипящего компонента (аммиака) из генератора-абсорбера (Г-А) в зону абсорбера-испарителя (А-И). Температура при этом в Г-А увеличивается от температуры окружающей среды до некоторой температуры $t_{гр}$, значение которой определяется начальным составом ВАР. В конце процесса выпаривания температура в Г-А $t_{гр} \Rightarrow max$, давление в системе также максимально, а температуру А-И принимаем постоянной и равной t_x. В это же время, максимальная доля аммиака в ВАР находится в А-И, а минимальная – в Г-А.



а)



б)

Рисунок 1 – Схема потоков тепла и массы при работе АВХА ПД
а) – работа в период зарядки; б) – работа в период охлаждения

В период охлаждения (рис. 1.б), зона Г-А переходит в область температур окружающей среды, т.е. тепловой поток от источника тепла блокируется, а на внешнюю поверхность подаётся наружный воздух. За счёт смещения равновесия в ВАР, при понижении температуры в Г-А система переходит в зону пониженных давлений. Во внутреннем объёме АВХА ПД давление падает до минимального (в первоначальный момент) значения P_{min}. Насыщенный аммиаком ВАР в А-И в этот момент вскипает с отводом тепла от потока наружного воздуха. При охлаждении ВАР, в Г-А из окружающей среды за счёт разности температур возникает тепловой поток Q_0, который и представляет собой холодопроизводительность АВХА ПД. Образующийся пар аммиака абсорбируется в зоне Г-А с отводом теплоты абсорбции Q_a в окружающую среду с температурой t_x. В этом процессе происходит монотонное увеличение давления с соответствующим ростом температуры в зоне А-И. Воздушный поток, который омывает наружную поверхность А-И, охлаждается до температур ниже точки росы, и из него выпадает конденсат воды. Процесс охлаждения происходит до установления температурного равновесия в зонах Г-А и А-И.

Для практической реализации такого устройства необходимо оценить его холодопроизводительность при работе в различных климатических условиях, с перспективой максимального использования в засушливых жарких зонах планеты. Эта холодопроизводительность будет определяться количеством тепла, отобранного от воздуха при его охлаждении ниже температуры точки росы. В связи с этим, исходные данные будут включать температуру и влагосодержание атмосферного воздуха и возможную максимальную температуру греющего источника $t_{гр}$. На начальном этапе расчёта задавались равновесным начальным составом ВАР – $x_{нач}$ (в жидкой фазе) и $y_{нач}$ (в паровой фазе). При расчёте принято количество ВАР в Г-А и А-И одинаковым.

Задачей термодинамического расчёта АВХА ПД является определение рабочего диапазона с оценкой холодопроизводительности, которая и определяет производительность установки по извлечению воды из атмосферного воздуха методом механического осушения (обеспечения в зоне контакта стенки и воздуха температуры ниже точки росы).

Расчёт проведён для диапазона режимных параметров:

а) температура греющего источника (на стенке генератора) $t_{гр}$ = 65..95°С;

б) температура «холодного» источника (температура атмосферного воздуха) t_x = 25..45°С;

в) максимальная рабочая температура в зоне охлаждения принималась равной 10 °С.

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении температуры греющего источника снижается доля аммиака в зоне генерации, что позволяет в период охлаждения получить более высокий движущий потенциал поглощения в процессе абсорбции, т.е. имеется возможность увеличить холодопроизводительность АВХА ПД и, соответственно, производительность установки по извлечению воды из атмосферного воздуха.

С ростом температуры атмосферного воздуха минимальное давление в системе (при фиксированном составе в зоне генерации) возрастает, причём этот рост больший при больших значениях X_{min}. Это говорит о том, что при увеличении температуры атмосферного воздуха и росте

давления в системе повышается и температура в зоне охлаждения, т. е. холодопроизводительность АВХА ПД снижается.

Для оценки холодопроизводительности АВХА ПД в области «полезных» (температура в зоне охлаждения не выше 10 °С) параметров был проведен расчёт среднеинтегрального за рабочий период «зарядки-разрядки» значения теплоты парообразования аммиака. Показано, что холодопроизводительность возрастает с увеличением температуры греющего источника. Так, при t_x = 25°С и X_{min} = 0,3, при росте $t_{гр}$ от 65 до 95°С, рост q_0 составляет от 650 до 2800 кДж. При t_x = 35°С, q_0 увеличивается от 50 кДж до 1200 кДж. При t_x = 45°С режим работы АВХМ не реализуется при температурах греющей среды ниже 95°С. При низких температурах атмосферного воздуха можно получить достаточно высокие значения холодопроизводительности, увеличив количество аммиака в ВАР в зоне генерации. Так, аналогичные значения q_0 = 2650 кДж при t_x = 25°С можно получить и при $t_{гр}$ = 95 °С и X_{min} = 0,3, и при $t_{гр}$ = 65 °С и X_{min} = 0,5.

Выводы:

1. При увеличении температуры греющего источника снижается доля аммиака в зоне Г-А, что позволяет в период охлаждения получить более высокий потенциал процесса абсорбции, т.е. можно увеличить холодопроизводительность АВХА ПД и производительность по извлечению воды из атмосферного воздуха. Так при росте температуры греющего источника от 65°С до 95°С минимальная температура в зоне охлаждения снижается от 7°С до минус 17°С.

2. При увеличении температуры атмосферного воздуха холодопроизводительность АВХА ПД снижается, причем особенно заметна эта тенденция при больших долях аммиака в зоне генерации.

3. Проведенная оценка холодопроизводительности АВХА ПД показала, что она возрастает с увеличением температур греющего источника, причем при более низких значениях температуры атмосферного воздуха эта тенденция более явная.

4. При низкой температуре атмосферного воздуха можно получить максимальные значения холодопроизводительности АВХА ПД, увеличив количество аммиака в зоне генерации.

5. Несмотря на определенные с точки зрения термодинамики перспективы применения АВХА ПД в системах получения воды из атмосферного воздуха, окончательную оценку их эффективности можно получить после проведения конструктивного расчета, который и предполагается выполнить в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Чекарев К.В. Получение пресной воды из влажного воздуха // Аридные экосистемы. – 1996. – Т. 2. – № 2–3.

2. Перельштейн Б.Х. Новые энергетические системы [Текст]: монография / Б.Х. Перельштейн; Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. – 244 с.

УДК 621.56-022.532

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ С ДОБАВКАМИ ФУЛЛЕРЕНОВ В БЫТОВОМ ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Хлиева О.Я., к.т.н., Мороз С.А., Лукьянов Н.Н., к.т.н., Железный В.П., д.т.н.,
Институт холода, криотехнологий и экоэнергетикиим. Мартыновского В.С. Одесской национальной академии пищевых технологий, г. Одесса, Украина
E-mail: khliyev@ukr.net

Повышение энергетической эффективности холодильного оборудования является основным требованием развитие данной отрасли, ориентированным на рациональное использование энергии и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Применение нанотехнологий, в частности использование нанофлюидов, может способствовать решению данного вопроса, без модернизации холодильного оборудования. В литературе имеются результаты экспериментальных исследований, посвященные применению нанофлюидов как в качестве рабочих тел холодильного оборудования (растворов хладагент/компрессорное масло/наночастицы) [1-18], так и в качестве промежуточных тепло- и хладоносителей[1]. Так как наночастицы не участвуют в фазовых переходах в рабочем цикле холодильной машины, то основная причина повышения энергетической эффективности холодильного оборудования связана, по всей видимости, с изменением свойств компрессорных масел с

наночастицами (наномасел). Теоретически, повышение общей энергоэффективности холодильной системы, использующей наномасло, может быть связано как со снижением износа деталей и потерь энергии на трение в компрессоре, так и с интенсификацией теплообменных процессов (прежде всего из-за изменения теплофизических свойств реального рабочего тела - хладагент/ компресорное масло/ наночастицы).

По имеющейся в литературе информации в качестве добавок в компрессорные масла для холодильного применения различные исследователи используют: наночастицы оксидов металлов (Al_2O_3, TiO_2) [2-14], наночастицы$NiFe_2O_4$ [15], поверхностно-модифицированный графит [16], фуллерены [17, 18], нанотрубки [13].

Из анализа рассмотренных работ следует, что результаты применения наночастиц в качестве примесей к компрессорному маслу в ряде случаев приводят к повышению показателей энергетической эффективности холодильного оборудования (увеличению холодильного коэффициента или снижению суточного потребления энергии бытовыми холодильными приборами). Хотя, следует заметить, что иногда позитивный эффект лежит в пределах погрешности выполненных экспериментов. В ряде работ [13, 14, 16] отмечена зависимость степени улучшения энергетических характеристик при использовании наномасла от концентрации наночастиц в масле. Характерная особенность работ [3-7, 15] заключается в том, что авторы попытались заменить более сложные в использовании полиолэфирные масла на минеральные с добавками наночастиц и при этом экспериментально получили заметное повышение энергетических характеристик холодильной машины. Несмотря на то, что эти эксперименты проводились в идентичных условиях, делать выводы о перспективности применения наночастиц при таком подходе нельзя, так как не понятно, какой фактор оказал большее влияние – применение иного компрессорного масла или добавка в рабочее тело наночастиц. Так, на оригинальном экспериментальном стенде, созданном в лаборатории кафедры теплофизики и прикладной экологии ОНАПТ, авторами данной работы было показано [18], что при одинаковых рабочих параметрах холодильной компрессорной системы с хладагентом R600a холодильный коэффициент при использовании минеральных масел с различной вязкостью отличается на 5-7%.

В работе [8] рассматривались характеристики холодильной машины при использовании в качестве рабочего тела раствора R134a/наночастицы Al_2O_3/полиалкиленгликольное масло и аналогичного рабочего тела без наночастиц. Показано, что при концентрации наночастиц в рабочем теле 0,2 масс.% энергопотребление снижается на 10,32 %. К сожалению, в этой работе не проведено сравнение холодильного коэффициента при работе на нанохладагенте и чистом хладагенте.

Автор работы [9] проводил сравнение параметров эффективности холодильной машины, работающей на хладагенте R12 с чистым минеральным маслом и тем же маслом с примесями наночастиц TiO_2. Показано, что при концентрации наночастиц 0,01 об. % в компрессорном масле холодильный коэффициент возрастал на 17%.

В работе [10] авторы рассматривали применение наномасла (минеральное масло с примесями 0,2 масс. % наночастиц TiO_2) в холодильной машине с герметичным компрессором при разных температурах кипения. Показано, что потребляемая компрессором мощность при его заправке наномаслом на 9,33 % меньше, чем при использовании масла без наночастиц. Следует подчеркнуть, что в проведенных экспериментах наблюдалось увеличение усредненного по температуре кипения значения холодильного коэффициента на 16,08 %.

В работе [11] на калориметрическом стенде были проведены исследования работы компрессорной системы с использованием в качестве хладагента изобутана и изобутана с добавками наночастиц TiO_2 с концентрациями 0,01 и 0,05 масс. % при трех значениях температуры кипения. Показано незначительное (не более чем на 1,5 %), лежащее в пределах погрешности эксперимента, снижение потребляемой компрессором мощности и увеличение холодопроизводительности (на 0,5 %) при использовании в качестве хладагента изобутана с наночастицами. Кроме того, кажется не совсем корректным использованный в работе подход к приготовлению рабочего тела, при котором наночастицы смешивались с хладагентом.

Аналогичные рабочие тела были использованы при испытании бытового холодильника [12]. Исследования показали снижение суточного времени работы компрессора бытового холодильника на нанохладагентах на 3,2%.

В работе [13] проводилось сравнение энергетических характеристик системы, работающей по циклу теплового насоса при использовании полиэфирного компрессорного масла и двумя образцами наномасла (с наночастицами TiO_2 и углеродными нанотрубками). Кроме того, проводилось сравнение работы оборудования с минеральным маслом и наномаслом (с наночастицами TiO_2). Влияние добавок наночастиц TiO_2 в полиэфирное масло (при трех концентрациях) на величину коэффициента

преобразования теплового насоса было небольшим, в пределах погрешности эксперимента. Примеси углеродных нанотубок в масле привели к уменьшению коэффициента преобразования на 3,3%. Такой же отрицательный эффект был зафиксирован при использованиинаночастиц TiO_2 в минеральном масле. Вероятнее всего объяснить полученный результат можно отсутствием использования поверхностно активных веществ при приготовлении наномасла, что могло привести к агрегации наночастиц при смешивании с хладагентом (хотя авторы утверждали, что проводились наблюдения за стабильностью наномасел после их приготовления).

Авторами данного исследования ранее получены результаты по энергетическим характеристикам холодильной компрессорной системы при использовании минерального компрессорного масла с наночастицами Al_2O_3(0,08 и 0,52% масс.) и TiO_2 (0,48 и 1,00 % масс.) [2, 14]. Показано, что добавка указанных наночастиц всегда приводит к увеличению холодильного коэффициента системы. Величина этого эффекта зависит как от вида и концентрации наночастиц, так и от массового расхода рабочего тела в системе. При расходах, оптимальных для работы экспериментальной установки, укомплектованной компрессором бытового холодильного прибора, эффект увеличения холодильного коэффициента составлял от 3 до 6 % для различных наномасел, хотя при низких расходах эффект был выше.

В исследовании [16] рассматривалась работа бытового холодильного прибора (БХП) с использованием хладагента R600a и минерального компрессорного масла с добавками поверхностно модифицированного графита в концентрациях 0,05%, 0,1%, 0,2% и 0,5% масс. Проведенный эксперимент показал, что наибольшее снижение коэффициента рабочего времени (на 15,22%) и суточного энергопотребления (на 4,55 %) наблюдается при концентрации графита в масле 0,1 % масс. При концентрации 0,5 % масс. модифицированного графита эффект практически не наблюдался, а при концентрации 0,05% и 0,2% масс. суточное энергопотребление снижалось на 3,54 и 3,61 % соответственно. Особенность приготовления данного наномасла заключалась в использовании нанодисперсного поверхностно-модифицированного графита, стоимость которого (в силу отсутствия отработанной технологии приготовления) высока.

В качестве углеродного наноматериала перспективным является использование компрессорного масла с добавками фуллеренов, технология производства которых уже хорошо отработана. Еще одной положительной особенностью их использования является хорошая агрегативная стабильность в компрессорных масла [17, 18, 19] и экспериментально подтвержденное снижение потер энергии на трение при использовании масла с фуллеренами [19-21]. Вместе с тем, влияние примесей фуллеренов в компрессорном масле на показатели энергетической эффективности холодильного оборудования изучено еще недостаточно [17, 18], хотя приведенные в этих работах результаты исследования указывают на перспективность применения данного наномасла. Авторы работы [17] констатируют увеличение холодильного коэффициента бытового холодильника на 5,3-5,6% при использовании компрессорного масла с концентрацией в нем фуллеренов 3 г/л.

Экспериментальное сравнение показателей энергетической эффективности холодильной компрессорной системы при использовании рабочих тел R600a/минеральное масло и R600a/минеральное масло /фуллерены C_{60}.

Для оценки перспектив использования компрессорного масла с добавками фуллеренов авторами работы было проведено экспериментальное исследование показателей энергической эффективности холодильной компрессорной системы при использовании минерального масла с добавками 0,5% масс. фуллеренов C_{60}[18]. В экспериментальной установке [2, 14] применялся компрессор Atlant CKH 150, предназначенный для использования в бытовых холодильниках. В проведенной серии экспериментов измерялись холодопроизводительность и потребляемая компрессором мощность при различных расходах рабочего тела (в диапазоне 0,0002 – 0,0004 кг/с), температурах кипения хладагента (от 254,9 до 255,8 К) и конденсации (от 300,2 до 301,6 К). Параметры работы компрессорной системы исследовались при работе на следующих рабочих телах: хладагент R600a (изобутан)/компрессорное масло (минеральное масло с вязкостью 19,5сСт при 40˚С); R600a/масло/ фуллерены C_{60} с концентрацией 0,5 % масс.

Сравнение полученных экспериментальных результатов по величине холодопроизводительности и потребляемой компрессором мощности при использовании минерального масла без добавок и масла с фуллеренами приведены на рис. 1. Как видно, в среднем мощность, потребляемая компрессорной системой с наномаслом, уменьшилась на 5-6% (в зависимости от расхода рабочего тела) при приблизительно постойном значении холодопроизводительности, что согласуется с результатами, полученными в работе [17].

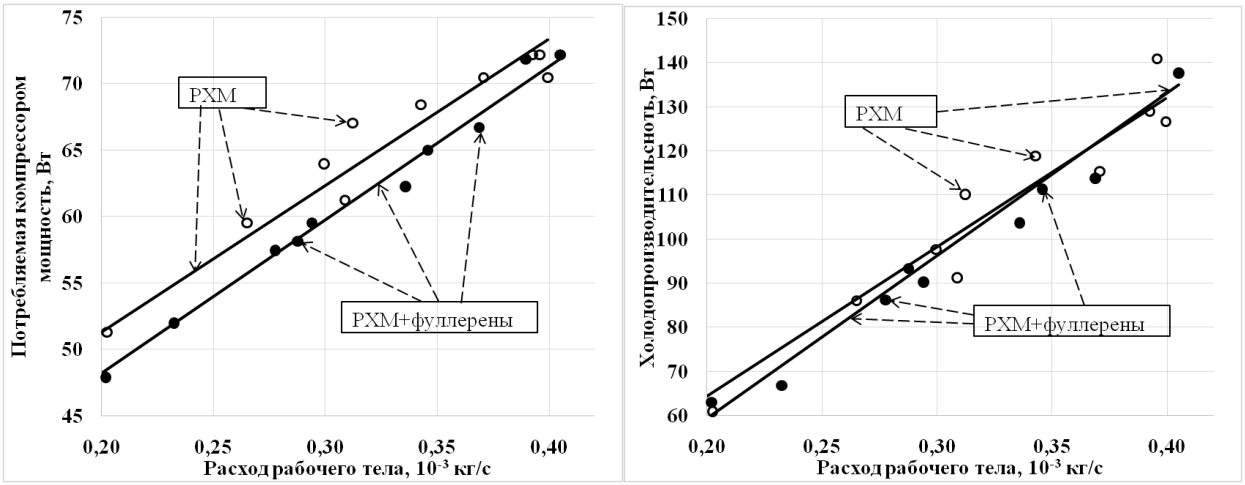


Рисунок 1 - Зависимость потребляемой компрессором мощности и холодопроизводительности от расхода рабочего тела в контуре холодильной компрессорной системы: ○ – РХМ (R600a/масло); ● – РХМ+фуллерены C_{60} (0,50 % масс.).

Эколого-энергетическое обоснование перспектив использования минерального компрессорного масла с добавками фуллеренов C_{60}в бытовом холодильном оборудовании.

Несмотря на то, что применение в бытовых холодильных приборах компрессорных наномасел не влечет за собой изменение конструкции оборудования, вывод о перспективах применения наномаселс целью повышения энергоэффективности БХП должен быть обоснован с позиций эколого-энергетического анализа. Стоимость компрессорного масла с добавками наночастиц окислов металлов может существенно возрасти из-за сложности его приготовления, а углеродные наноматериалы (поверхно-модифицированного углерода или фуллеренов) сами отличаются высокой стоимостью.

По мнению авторов настоящей работы, величина индекса энергетической эффективности *I* [25], по численному значению которого определяется класс энергетической эффективности БХП, не может являться критерием для оценки перспективности применения наномасел, так как этот критерий не учитывает энергетические затраты на создание БХП. Очевидно, что высокий класс энергетической эффективности, как правило, обеспечивается высокими затратами на создание БХП. Использование для анализа БХП методики LCC (LifeCycleCost) позволяет учесть фактор высокой стоимости оборудования, но не учитывает экологические аспекты эксплуатации холодильных приборов. Вместе с тем, в материалах UNEP [26] подчеркивается, что создание нового энергоемкого холодильного оборудования должно проводиться с учетом необходимости снижения выбросов парниковых газов на всех этапах жизненного цикла БХП – от его создания до эксплуатации и утилизации.

Поэтому в соответствии с уже известными принципами оценки эквивалентной эмиссии парниковых газов при производстве искусственного холода [22-24] был разработан эколого-энергетический индикатор эффективности БХП:

$$\delta = ПЭЭПГ / V_{бхп} \cdot \tau \text{, кг}CO_2\text{./(л·сутки)} \qquad (1)$$

где: *ПЭЭПГ* – полная эквивалентная эмиссия парниковых газов на жизненном цикле БХП, кг CO_2-экв; $V_{бхп}$ – приведенный объем БХП, л; τ – период эксплуатации БХП, сутки.

Отметим, что расчет величины $V_{бхп}$ осуществляется по методике, используемой при оценке класса энергоэффективности БХП [25]. Предложенный индикатор не противоречит традиционно используемому для оценки энергетической эффективности критерию *I*, вместе с тем дополняет его.

Общая зависимость для расчета *ПЭЭПГ* приведена в ряде работ [22-24]. Применительно к БХП формула для расчета полной эквивалентной эмиссии парниковых газов имеет вид:

$$ПЭЭПГ_{БХП} = \beta(e_{ВВП} \cdot c_i^{об} + e^{ч.т.} \cdot n^{ч.т}) + N_{сут} \cdot \beta \cdot \tau \cdot 365 + m_{хл} \cdot GWP, \qquad (2)$$

где: β – выбросы CO_2 при производстве 1 кВт·ч электроэнергии для конкретной страны, кг CO_2-экв/кВт·ч; $e_{ВВП}$ - энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) для конкретной страны, кВт.ч/ден.ед.; $c_i^{об}$ - себестоимость производства оборудования, ден.ед.; $e^{ч.тр}$ - энергетический эквивалент человеческого труда при создании оборудования, кВт·ч/чел·час; $n_i^{ч.тр}$- трудозатраты на производство оборудования, чел·ч; $N_{сут}$ – суточное энергопотребление БХП, кВт·сут; τ- срок эксплуатации оборудования, год; $m_{хл}$ - масса утечек хладагента при эксплуатации оборудования и его

утилизации, кг/год; $GWP_{хл}$ - потенциал глобального потепления хладагента, CO_2-экв/кг.

Данный экоиндикатор может быть использован как для обоснованного выбора перспективного рабочего тела (в частности, наномасла), так и для оценки общей эколого-энергетической эффективности БХП.

Для оценки перспектив применения компрессорного масла с фуллеренами по предложенной методике, на основании полученных экспериментальных данных был выполнен эколого-энергетический анализ БХП. Кроме того, была выполнена оценка индекса энергетической эффективности *I* БХП по стандартной методике [25].

Результаты расчета индекса энергетической эффективности *I* по полученным экспериментальным данным для массового расхода рабочего тела 0,0004 кг/с, характерного для БХП с компрессором Atlant СКН 150, показывают, что при использовании наномасла с содержанием 0,5 % масс.фуллеренов в сравнении с традиционным компрессорным маслом величина *I* уменьшается на 4,9%. Полученный результат говорит о увеличении энергетической эффективности БХП, что позволяет сформулировать вывод о принципиальной возможности повышения класса энергетической эффективности объекта исследования при использовании компрессорного масла с фуллеренами C_{60}.

Для оценки возможности применения полученных экспериментальных данных к анализу эколого-энергетической эффективности БХП был выполнен расчет теплопритоков в холодильную и морозильную камеру. В качестве объекта исследования использовался домашний холодильник НОРД ДХ-271, укомплектованный компрессором Atlant СКН 150. С использованием экспериментальных данных о потребляемой холодильной компрессорной системой мощности и холодопроизводительности рассчитаны коэффициент рабочего времени, суточное энергопотребление, и величина индекса энергетической эффективности БХП при использовании компрессорного масла с добавками фуллеренов и без них при разных расходах рабочего тела.

При выполнении расчетов показателя эколого-энергетической эффективности приняты следующие исходные данные: стоимость бытового холодильника НОРД ДХ-271 - 227 U.S.$.; при анализе системы с наномаслом дополнительно учитывались затраты на приобретение фуллеренов C_{60} чистотой 99,5% в количестве 1,5 грамма; масса заправки хладагента R600a - 55 грамм; по данным U.S. EnergyInformationAdministration, значение энергоёмкости валового внутреннего продукта ($e_{ВВП}$) для Украины в 2011 г. - 16,56 кВт.ч/U.S.$; по данным, приведенным на официальном сайте World-statistics, эквивалентная эмиссия парниковых газов при производстве 1 кВт.ч электроэнергии для Украины - β = 0,697 кгCO_2/кВт·ч. Срок эксплуатации БХП у разных производителей колеблется в пределах 7-15 лет и, так как принятая для расчета величина срок эксплуатации скажется на результатах эколого-энергетического анализа, расчет выполнялся для периода 7, 10, 15 лет.

Результаты выполненного расчета удельного экоиндикатора δ в зависимости от расхода рабочего тела при разных сроках эксплуатации БХП представлены на рисунке 2.

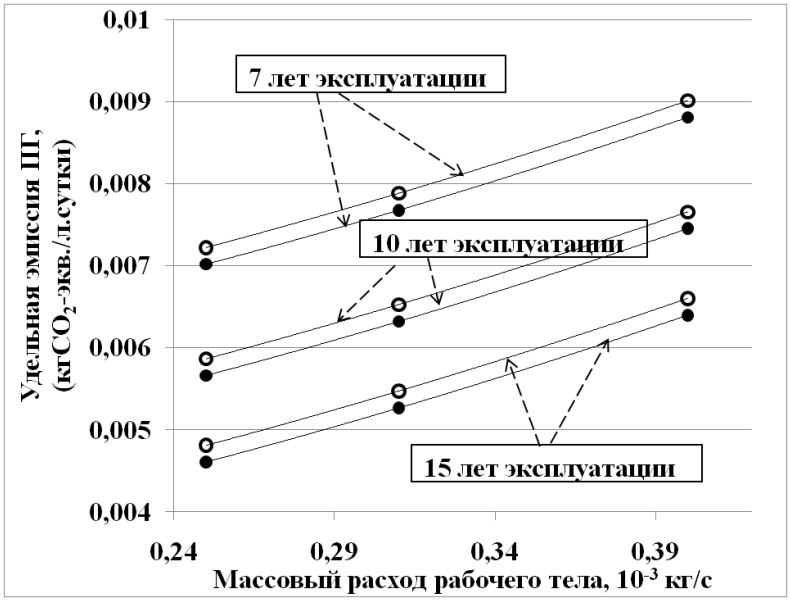


Рисунок 2 - Зависимость эколого-энергетического индикатора **δ**от расхода рабочего тела в контуре холодильной компрессорной системы при разных сроках эксплуатации БХП: ○ – РХМ (R600a/масло); ● – РХМ+фуллерены C_{60} (0,50 % масс.).

Анализ полученных значений величины удельной эмиссии парниковых газов на единицу объема бытового холодильного прибора δ показал, что для БХП, использующего компрессорное масло с примесями фуллеренов C_{60}, величина δ меньше, чем для БХП с традиционным компрессорным маслом, что говорит о большей эколого-энергетической эффективности БХП с наномаслом.

Использование наномасла с фуллеренами приводит к снижению косвенных выбросов CO_2 в атмосферу в связи с уменьшением суточного энергопотребления. Выполненный анализ вкладов в общую величину ПЭЭПГ показывает, что косвенный вклад от энергопотребления БХП больше, чем косвенный вклад от затрат на его производство (особенно при больших сроках эксплуатации). По этой причине небольшое увеличение косвенного вклада в ПЭЭПГ от повышения стоимости наномасла нивелируется снижением косвенного вклада от энергопотребления.

Снижение энергопотребления БХП без существенной модернизации оборудования является приоритетным направлением совершенствования бытовых приборов. В проведенном исследовании показано, что добавки фуллеренов C_{60} в минеральное компрессорное масло в количестве 0,5% масс. привели к уменьшению индекса энергетической эффективности бытового холодильника на 4,9%, что позволяет сформулировать вывод о принципиальной возможности повышения класса энергетической эффективности БХП при использовании наномасла с фуллеренами C_{60}. Выполненный анализ показывает, что применение компрессорных масел с добавками наночастиц обеспечивает решение задачи повышения эколого-энергетической эффективности, при незначительном увеличении затрат на производство БХП, связанном с повышенной стоимостью компрессорных наномасел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Celen, A. A review of nanorefrigerants: Flow characteristics and Applications / A. Celen, A. Çebi, M. Aktas, O. Mahian, A. S. Dalkilic, S. Wongwises // International Journal of Refrigeration. – 2014. – Vol. 44. – P. 125–140.

2. Chen, G.An experimental and theoretical investigation of the compressor oil and nanoparticles admixtures influence on the performance of the compressor systems / G. Chen, V.Zhelezny, K.Shestopalov, N.Lukianov, M. Polyuganich// Proc. 24th International Congress of Refrigeration. - Yokohama, Japan, August 16 - 22, 2015. - ID 318. - 8 p.

3. Bi, S. Application of nanoparticles in domestic refrigerators / S. Bi, L. Shi, Li. Zhang // Applied Thermal Engineering. – 2008. – Vol. 28, Issue 14-15. – P. 1834–1843.

4. Bi, S. Performance of a domestic refrigerator using TiO2-R600a nano-refrigerant as working fluid / S. Bi, K. Guo, Z. Liu, J. Wu // Energy Conversion and Management. – 2011. – Vol. 52, Isssue 1. – P. 733–737.

5. Padmanabhan, V. M. V. The use of TiO_2 nanoparticles to reduce refrigerator ir-reversibility/ V. M. V. Padmanabhan, S. Palanisamy // Energy Conversion and Management. – 2012. – Vol. 59. – P. 122–132.

6. Subramani, N. Experimental studies on a vapour compression system using nanorefrigerant / N. Subramani, M. J. Prakash // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2011. – Vol. 3, Issue 9. – P. 95–102.

7. Jwo, C. S. Effects of nanolubricant on performance of hydrocarbon refrigerant system / C. S. Jwo, L. Y. Jeng, T. P. Teng, H. Chang // Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures. – 2009. – Vol. 27, Issue 3. – P. 1473–1477.

8. Kumar, D. S. Experimental Study on Al2O3-R134a Nanorefrigerant in Refrigeration System / D. S. Kumar, R. D. Elansezhian // International Journal of Modern Engineering Research. – 2012. – Vol. 2, Issue 5. – P. 3927–3929.

9. Sabareesh, R. K Application of TiO_2 nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems – An experimental investigation / R. K. Sabareesh, N. Gobinath, V. Sajith, S. Das, C. B. Sobhan // International Journal Refrigeration. – 2012. – Vol. 35, Issue 7. – P. 1989–1996.

10. Sajumon, K. T. Performance analysis of nanofluid based lubricant / K. T. Sajumon, V. Jose Jubin, S. Sreejith, V. Menon Aghil, P. N. SreerajKurup, S. Sarath // Proceedings of International Conference on Energy and Environment – 2013 (ICEE 2013), 2013. – P. 832–838.

11. Кулешов, Д. К. Влияние наночастиц TiO_2 на энергетическую эффективность холодильных машин, работающих на изобутане/ Д. К. Кулешов //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 5, № 8 (71). – С. 47–52.

12. Кулешов, Д. К. Экспериментальное исследование характеристик домашнего холодильника, использующего нанофлюид R600A/TiO_2/ Д. К. Кулешов, И. Н. Красновский // Холодильная техника та технология. – 2014. – № 5 (151). – С. 12–16.

13. Fedele, L. NanofluidsCharacterizationandApplicationasNanolubricantsinHeatPumpsSystems/ L. Fedele, L.Colla, S. Minetto, M. Scattolini, F. Bellomare, S.Bobbo, V.Zin//ScienceandTechnologyfortheBuiltEnvironment. – 2015. – 21. – P. 621-630.

14. Лукьянов, Н. Н. Исследование перспектив применения нанохладагентов с целью повышения эколого-энергетической эффективности оборудования / Н. Н. Лукьянов, О. Я. Хлиева, В. П. Железный, Ю. В. Семенюк // Восточно-Европейский журнал передовыхтехнологий. – 2015. – Т. 3, № 5 (75). – С. 32-40.

15. Wang, R. Use of nanoparticles to make mineral oil lubricants feasible for use in a residential air conditioner employing hydro-fluorocarbons refrigerants / R. Wang, Q. Wu, Y. Wu // Energy and Buildings. – 2010. – Vol. 42, Issue 11. – P. 2111–2117.

16. Lou, J. Experimental investigation of graphite nanolubricant used in a domestic refrigerator /J.Lou, H.Zhang, R. Wang //Advances in Mechanical Engineering. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – P. 1-9.

17. Xing, M. Application of fullerene C_{60}nano-oil for performance enhancement of domestic refrigerator compressors / M.Xing, R.Wang, J.Yu // International Journal of Refrigeration. - 2014.- Vol. 40. - P. 398-403.

18. Хлиева, О. Я. Экспериментальное исследование влияния примесей фуллеренов C_{60} в компрессорном масле и величины вязкости масла на показатели эффективности холодильной компрессорной системы / О. Я. Хлиева, С. А. Мороз, Н. Н. Лукьянов, В. П. Железный// Вестник Международной Академии Холода. – 2015. – принято к пчати.

19. Lee, K. Performance evaluation of nanolubricants of fullerene inrefrigeration mineral oil/ K.Lee, Y.Hwang, S.Cheong, L.Kwon, S.Kim, J.Lee// CurrentAppliedPhysics. - 2009. - Vol. 9, Issue 2. - P. 128-131.

20. Ku, B.C.Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles addedinm ineral lubricants according to its viscosity. / B.C.Ku, Y.C.Han, J.E.Lee, J.K.Lee, S.H. Park// Int. J. Precis. Eng. Man. – 2010. – Vol.11. – P. 607-611.

21. Lee, K. Understanding the Role of Nanoparticles in Nano-oil Lubrication/ K.Lee, Y.Hwang, S. Cheong, Y. Choi, L. Kwon, J. Lee, S. H. Kim// TribologyLetters. – 2009. – Vol.35, Issue 2. – P.127-131.

22. Chen, G. Ecological and energy efficiency analysis of reasonability application of ejector air conditioner compared tovapor compression equipment / G.Chen, V.Zhelezny, O.Khliyeva, K.Shestopalov, V.Ierin// Proc. 24th International Congress of Refrigeration. - Yokohama, Japan, August 16 - 22, 2015. - ID 787. - 8 p.

23. Zhelezny, V. Assessment of Total Equivalent of Greenhouse Gases Emission in the Industry / V. Zhelezny, O. Hlieva, S. Artemenko // CD Proceedings of the 3rd Europeans Congress “Economics and Management of Energy in Industry”. – Lisboa, Portugal, 2004.

24. Железный, В. П. Методика расчета полной эквивалентной эмиссии парниковых газов в промышленности / В. П. Железный, Н. П. Быковец, О. Я. Хлиева, В. П. Степанова, А. Б. Суходольская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 6. – С. 34–43.

25. COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 1060/2010 of 28 September 2010 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of household refrigerating appliances // Official Journal of the European Union.

26. UNEP 2014.Report of the Refrigeration, air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee [Electronic resource] / Assessment, 2014. – Available at: http://www.montreal-protocol.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/RTOC/RTOC-Assessment-Report-2014.pdf.

УДК 621.565.83, 536.332

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАТОРОВ ТРУБЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ НОЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Цой А.П., к.т.н., Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан,
Грановский А.С., магистр, ТОО «Тениз», г. Алматы, Казахстан,
Бараненко А.В., д.т.н., Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
E-mail: teniz@bk.ru, granovskiy.a@rambler.ru, baranenko@mail.ifmo.ru

Ночное радиационное охлаждение – это способ понижения температуры, основанный на передаче тепла в виде инфракрасного излучения через атмосферу Земли в окружающее космическое пространство [1]. Устройство для отвода теплоты за счет ночного радиационного излучения будем называть радиатором, а совокупность устройств, для осуществления охлаждения – системой ночного радиационного охлаждения (НРО).

Для определения того, как будет вести себя система НРО в тех или иных климатических условиях, необходимо определить, как различные факторы влияют на холодопроизводительность радиатора.

Достоверную математическую модель процессов теплообмена сравнительно просто разработать для радиатора пластинчатой конструкции, выполненного из двух металлических листов, между которыми протекает теплоноситель [2,3,4]. Однако, если радиатор имеет более сложную геометрическую форму (например представляет собой набор параллельных трубок), построение аналитической модели значительно усложняется.

Можно путем регрессионного анализа построить математическую модель радиатора на основе экспериментальных данных. Однако, в связи с тем, что погодные условия, в которых работает радиатор, трудно моделировать на экспериментальной установке, требуется значительное количество времени (от нескольких месяцев до года) для проведения эксперимента в естественных условиях.

Наиболее приемлемым способом определения зависимости для расчёта холодопроизводительности радиатора может быть построение его компьютерной модели методом конечных элементов и её исследование при помощи регрессионного анализа [5,6].

Практический интерес представляют трубчатые конструкции радиаторов, представленные на рис. 1, 2 и 3 [7].

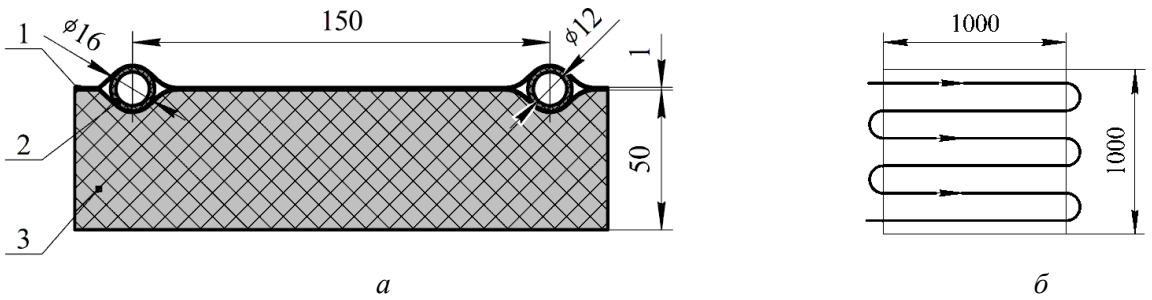


Рис. 1 - Радиатор из полиэтиленовой трубы: а – сечение; б – схема укладки труб;
1 – металлические листы; 2 – труба из полиэтилена; 3 – теплоизоляция

Первая конструкция (рис. 1 а) выполнена из двух стальных листов 1, между которыми зажата полиэтиленовая труба 2. Ниже имеется теплоизоляционный слой из пенопласта 3. Шаг между осями труб составляет 150 мм. Трубки уложены в виде змеевика (рис. 1 *б*)

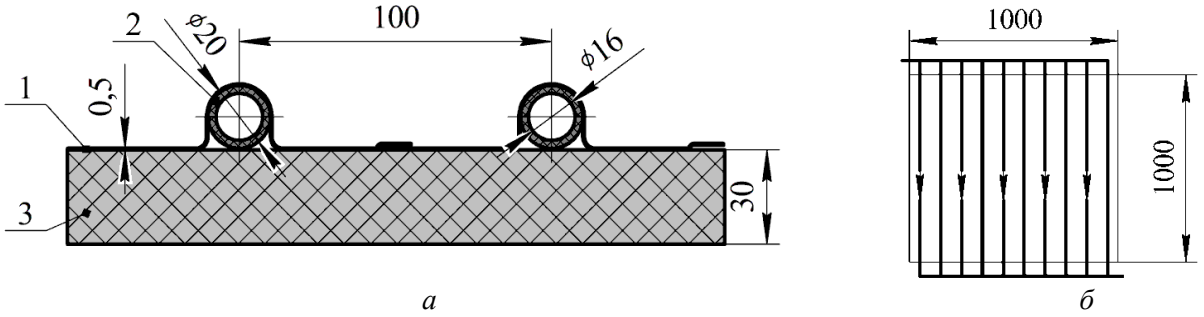


Рис. 2 - Радиатор из полипропиленовой трубы: а – сечение; б – схема укладки труб;
1 – металлический лист; 2 – труба из полипропилена; 3 – теплоизоляция

Вторая конструкция (рис. 2 *а*) выполнена из стальных пластин 1 и полипропиленовых труб 2, уложенных поверх теплоизоляционного слоя пеноплекса. Шаг между ближайшими трубами составляет 100 мм. Трубки подключены параллельно между распределительным и собирающим коллекторами (рис. 2 *б*).

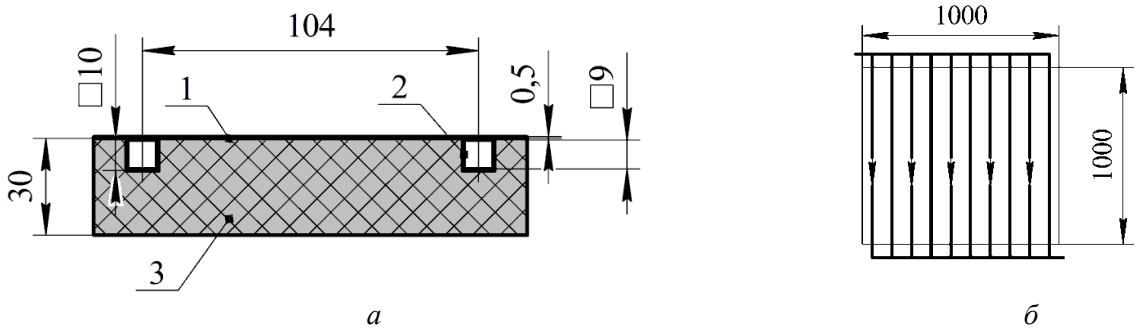


Рис. 3 - Радиатор из алюминиевой трубы: а – сечение; б – схема укладки труб;
1 – алюминиевый лист; 2 – труба из алюминия; 3 – теплоизоляция

Третья конструкция выполнена из квадратных алюминиевых труб 2 и алюминиевого листа 1, а также теплоизоляционного слоя пеноплекса 3 (рис. 3 *а*). Шаг между ближайшими трубами составляет 104 мм. Трубки подключены параллельно между распределительным и собирающим коллекторами (рис. 3 *б*).

Металлические листы 1 всех радиаторов сверху покрыты красителем с высокой относительной излучательной способностью (δ=0,93).

Методика расчётов

Для моделирования процессов теплообмена будем использовать среду Elcut [8].

В первую очередь исследуем работу радиатора, представленного на рис. 1. Экспериментальные исследования работы данного радиатора проводились ранее [9]. Поэтому на основе имеющихся данных мы можем проверить правильность математической модели.

Опишем методику решения задачи. В первую очередь строим двухмерную геометрическую модель сечения радиатора (рис. 4).

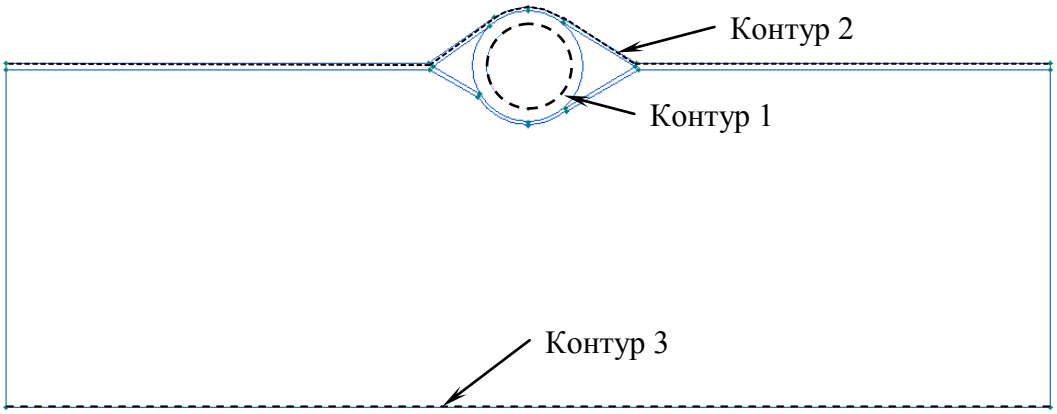


Рис. 4 - Геометрическая модель радиатора и граничные условия

После этого применяем свойства ребер и блоков. Ко всем ребрам контура 1 прикладываем граничное условие «Конвективный теплообмен», для которого температура жидкости 18,3°С, а коэффициент теплоотдачи 2400Вт/(м^2·К) при скорости движения воды в трубе около 0,5 м/с.

Ко всем ребрам контура 2 прикладываем условия «Конвективный теплообмен» и «Радиационный теплообмен».

При задании условий конвективного теплообмена принимаем:

- коэффициент теплоотдачи α=0,8 Вт/(м^2·К);
- температуру окружающей среды равной температуре воздуха:

$T_{окр}= T_в = 273 + 9,9 = 282,9$ К.

При описании радиационного теплообмена принимаем:

- относительная излучательная способность δ=0,93;
- температура окружающей среды равна температуре ночного неба:

$T_{окр}= T_н= 273 – 9,78 = 263,22$ К.

Ко всем ребрам контура 3 прикладываем условие «Конвективный теплообмен». Принимаем для него:

- коэффициент теплоотдачи α=0,47 Вт/(м^2·К);
- температуру окружающей среды равной температуре воздуха:

$T_{окр}= T_в = 273 + 9,9 = 282,9$ К.

Температуру ночного неба рассчитываем по методике, описанной в работе [10], на основе данных о температуре и влажности воздуха, а также общей облачности.

Коэффициенты теплоотдачи с ребер контуров 2 и 3 рассчитаны по стандартным методикам [11]. При этом физические свойства воздуха могут быть рассчитаны при помощи модуля «Moistair» программы CoolPack[12] и формул из статьи[13].

Строим сетку конечных элементов (см. рис. 5). В данном случае общее число элементов сетки не может превышать 255 штук.

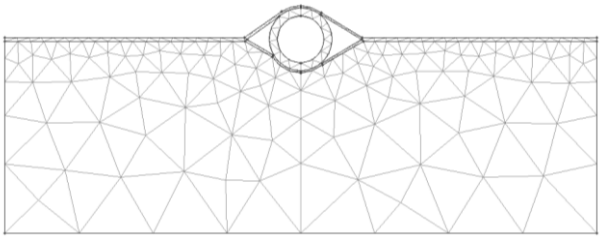


Рис. 5 - Сетка конечных элементов

Далее производим расчёт распределения температур (рис. 6) и тепловых потоков (рис. 7) в сечении радиатора.

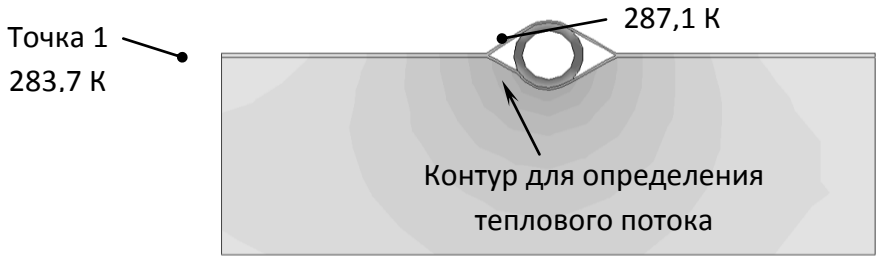


Рис. 6 - Результат расчета температур в сечении радиатора

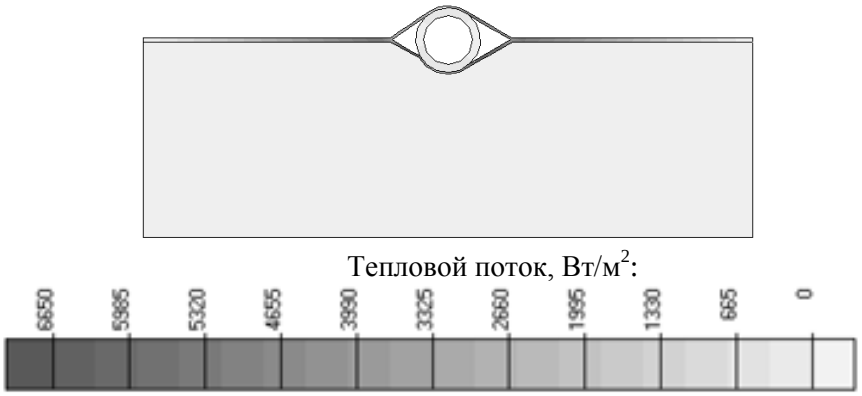


Рис. 7 - Результат расчета тепловых потоков в сечении радиатора

Далее проверим, совпадают ли результаты моделирования с экспериментальными данными. Для этого сравним теоретическое и экспериментальное значение температур металлического листа в пространстве между трубами (точка 1 на рис. 6). На основе имеющихся данных о температурах теплоносителя, воздуха и ночного неба проведем моделирование работы радиатора. Результат представим в виде графика на рис. 8.

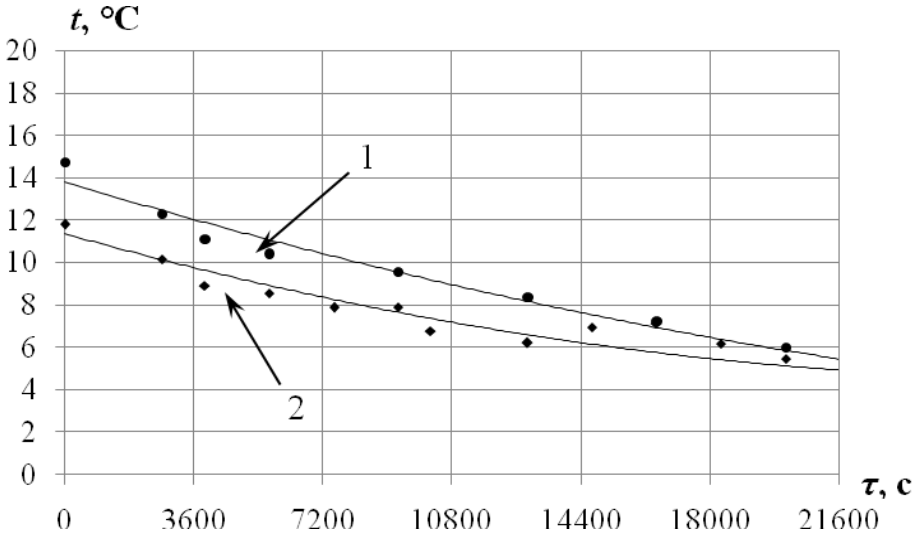


Рис. 8 - Температура поверхности листа в точке в центре пластины между двумя ближайшими трубами: 1 – по результатам эксперимента; 2 – по результатам расчетов

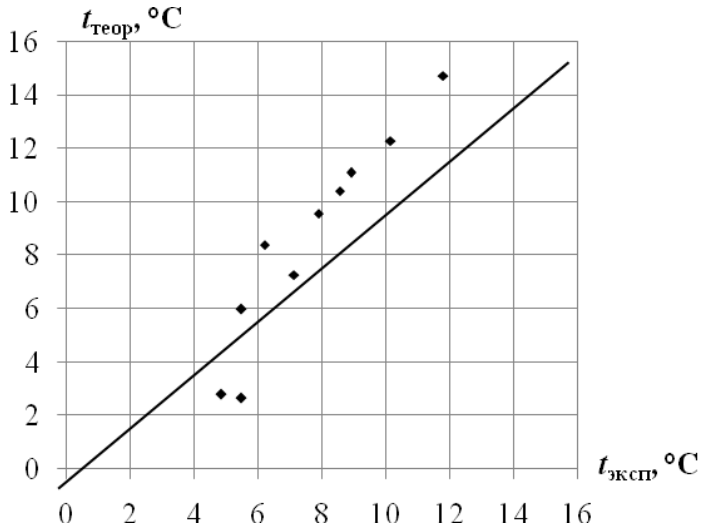


Рис. 9 - Сопоставление экспериментального и теоретического значения температуры листа в центре между трубами

Как видно из рис. 8, температуры в центре излучающей пластины по результатам эксперимента и по результатам расчетов различаются. Расчетные величины примерно на 10% меньше экспериментальных значений.

Предположительно, расхождение может быть вызвано несколькими факторами. Модель не учитывает термическое сопротивление, которое может быть обусловлено неплотным прилеганием трубопроводов к излучающей поверхности. Дополнительно погрешность может возникать из-за ограничений на количество элементов в используемой версии программы.

Также некоторая погрешность вызвана неопределенностью свойств материалов, из которых изготовлен радиатор. В частности теплопроводность стали и полиэтилена может изменяться в зависимости от сорта в некотором диапазоне.

Из-за всех перечисленных обстоятельств, результат теоретического расчета температуры в центре листа между трубами в среднем на 1,08°C выше экспериментального значения (см. рис 9).

Рассчитаем общую величину теплового потока для теплоносителя через внутреннюю поверхность одной трубки (контур 2, рис. 4). В данном случае он составляет 14,5 Вт. Таким образом, общая холодопроизводительность радиатора площадью 2 м^{2}через 13 параллельных трубок равняется 188Вт. Данное значение согласуется с наблюдаемым в эксперименте значением (около 150 Вт).

Перечислим проблемы с существующим способом решения. В данном варианте нет возможности моделировать гидродинамику потока жидкости. Также не представляется возможным задать более подробно оптические свойства поверхностей. К примеру, желательно учитывать закон Ламберта для радиаторов, излучающая поверхность которых имеет наклон к горизонту и оребрение [13]. Также используется средний для всей поверхности коэффициент теплоотдачи, хотя в действительности интенсивность теплообмена на отдельных участках конструкции может значительно различаться.

Тем не менее, при всех перечисленных упрощениях, предлагаемая методика дает адекватные значения температур и тепловых потоков в сечении радиатора. Следовательно, можно далее определить, как температурный режим влияет на холодопроизводительность радиаторов.

К управляемому параметру для радиаторов относится расход теплоносителя. В работе [2] показано, что достаточно установить расход теплоносителя таким образом, чтобы коэффициент теплоотдачи к внутренним стенкам труб был больше 300 Вт/(м^2·К), что обычно достигается при скорости движения теплоносителя более 0,1…0,2 м/с (как для воды так и для растворов гликолей). Дальнейшее увеличение расхода теплоносителя не будет влиять на холодопроизводительность радиатора. Поэтому, учитывать данный параметр в дальнейшем не требуется.

К контролируемым неуправляемым параметрам относится температура теплоносителя$t_т$, температура окружающего воздуха $t_в$, его влажность $\varphi_в$, степень облачности R. На основе данных о влажности и облачности может быть рассчитан комплексный параметр – условная температура ночного неба $t_н$. Его и будем использовать в нашей модели.

Скорость ветра в данном случае учитывать не будем, так как для поддержания минимальной температуры радиатора целесообразно минимизировать теплоприток за счет конвекции. Этого можно добиться путем размещения радиатора в коробе, закрывающем излучающую поверхность от ветра [15].

Таким образом, имеем три параметра, влияющих на работу радиатора: температуру воздуха $t_в$, температуру теплоносителя$t_т$ и температуру ночного неба $t_н$.

Для получения математической модели радиатора проведем полный факторный эксперимент [16].

За центр плана для всех параметров примем 0 °С. Интервал варьирования каждого из параметров ΔX=30°С. Т.е. в данном случае предполагается, что радиатор будет работать в температурном диапазоне от -30 до +30 °С.

Начнем с предположения, что модель исследуемого процесса является линейной:

$$Y = s_0 + \sum_{i=1}^{n} s_i X_i + \sum_{i \neq j} s_{ij} X_i X_j, \qquad (1)$$

где: s_0– значениеY в центре плана;

s_i– коэффициенты, характеризующие степень влияния факторов X_i на функциюY;

s_{ij}– коэффициенты, учитывающие влияние взаимодействия отдельных факторов.

Для нашего случая при трех факторах необходимо провести $N=2^3=8$ опытов. Линейная модель с тремя факторами будет иметь вид:

$$Y = s_0 + s_1 X_1 + s_2 X_2 + s_3 X_3 + s_{12} X_1 X_2 + \ldots$$
$$\ldots + s_{13} X_1 X_3 + s_{23} X_2 X_3 + s_{123} X_1 X_2 X_3. \qquad (2)$$

Пусть $X_1=t_т$; $X_2=t_в$; $X_3=t_н$. За функцию отклика Y примем холодопроизводительность радиатора Q_0, Вт.

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 1. В столбце 10 таблицы представлены значения функции отклика для радиатора из полипропиленовой трубы, в столбце 11 – значения функции отклика для радиатора из полипропиленовой трубы, в столбце 12 – значения функции отклика для радиатора из алюминиевой трубы.

Таблица 1 - Матрица планирования трехфакторного эксперимента

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y_i (полиэтил.)	Y_i (полипр.)	Y_i (алюм.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0	0	0,00
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	336,0	463,0	992,67
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-231,3	-324,4	-666,91
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	151,2	194,7	355,85
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-168,4	-214,5	-363,72
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	215,6	304,8	653,99
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-355,3	-487,2	-1011,60
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0	0,0	0,00

Значения средних коэффициентов теплоотдачи от излучающей поверхности к окружающему воздуху, при условии отсутствия ветра, рассчитаны отдельно (см. рис.10).

Результаты расчета коэффициентов модели для трех радиаторов представлены в таблицах 2, 3 и 4.

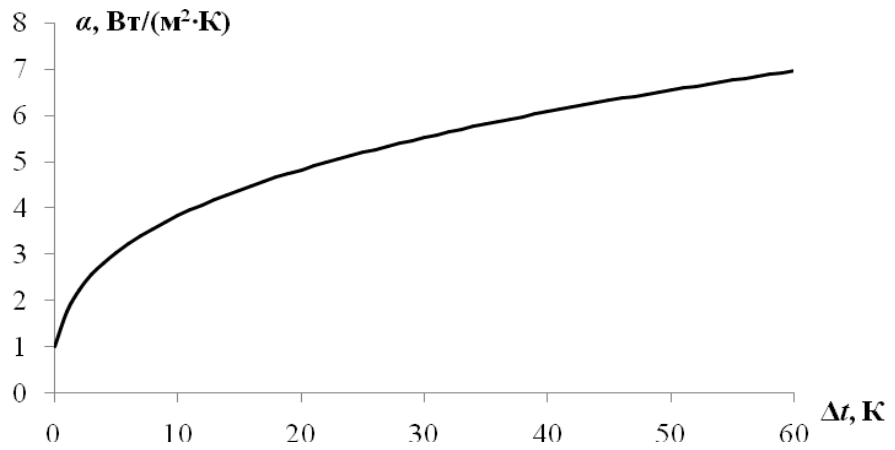


Рис. 10 - Величины коэффициентов теплоотдачи от излучающей поверхности к окружающему воздуху в зависимости от перепада температур

Таблица 2 - Коэффициенты для полиэтиленового радиатора

s_0	s_1	s_2	s_3	s_{12}	s_{13}	s_{23}	s_{123}
-6,522	182,227	-102,329	-70,503	2,209	2,615	1,699	-9,395

Таблица 3 - Коэффициенты полипропиленового радиатора

s_0	s_1	s_2	s_3	s_{12}	s_{13}	s_{23}	s_{123}
-7,955	248,580	-146,270	-91,290	3,015	3,045	1,895	-11,020

Таблица 4 - Коэффициенты для алюминиевого радиатора

s_0	s_1	s_2	s_3	s_{12}	s_{13}	s_{23}	s_{123}
-4,965	505,593	-325,700	-175,368	2,998	1,735	0,233	-4,525

Возвращаясь к реальным значениям переменных, получим формулы для расчета холодопроизводительности радиатора площадью 1 м^2.

Для полиэтиленового радиатора:

$$q_р = -6{,}522 + 6{,}074 \cdot t_т - 3{,}411 \cdot t_в - 2{,}350 \cdot t_н + 0{,}00245 \cdot t_т \cdot t_в + \ldots$$
$$\ldots + 0{,}00291 \cdot t_т \cdot t_н + 0{,}00189 \cdot t_в \cdot t_н - 0{,}000348 \cdot t_т \cdot t_в \cdot t_н. \quad (3)$$

Для полипропиленового радиатора:

$$q_р = -7{,}955 + 8{,}286 \cdot t_т - 4{,}8757 \cdot t_в - 3{,}043 \cdot t_н + 0{,}00034 \cdot t_т \cdot t_в + \ldots$$
$$\ldots + 0{,}0034 \cdot t_т \cdot t_н + 0{,}0021 \cdot t_в \cdot t_н - 0{,}00041 \cdot t_т \cdot t_в \cdot t_н. \quad (4)$$

Для алюминиевого радиатора:

$$q_р = -4{,}965 + 16{,}5831 \cdot t_т - 10{,}8567 \cdot t_в - 5{,}8459 \cdot t_н + 0{,}00034 \cdot t_т \cdot t_в + \ldots$$
$$\ldots + 0{,}0019 \cdot t_т \cdot t_н + 0{,}0003 \cdot t_в \cdot t_н - 0{,}000168 \cdot t_т \cdot t_в \cdot t_н. \quad (5)$$

где: $q_р$– удельная холодопроизводительность радиатора, Вт/м^2;

$t_т$– температура теплоносителя, °С;

$t_в$– температура атмосферного воздуха, °С;

$t_н$– условная температура ночного неба, °С.

Полученные линейные уравнения дают достаточную для оценочных расчётов точность вычислений. Поэтому на данном этапе исследований построение более сложных моделей радиатора не требуется.

Процессы теплообмена, происходящие в радиаторе системы НРО, можно с достаточной точностью исследовать при помощи общедоступных систем компьютерного моделирования процессов тепло- и массообмена методом конечных элементов.

Для оценки холодопроизводительности радиатора можно использовать линейное уравнение с тремя переменными: температурой теплоносителя, воздуха и ночного неба.

Зависимости, полученные в данной работе, могут быть использованы для определения холодопроизводительности радиаторов трубчатой конструкции при известных параметрах окружающей среды, а также для определения минимальной температуры теплоносителя, при которой холодопроизводительность положительна при заданных параметрах окружающей среды. Полученные зависимости справедливы, если температуры воздуха, ночного неба и теплоносителя находятся в диапазоне от -30 до +30 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kimball B. Cooling performance and efficiency of night sky radiators // Sol. energy. – 1985. – Vol. 34, № 1. – P. 19–33.

2. Цой А.П., Грановский А.С. Математическая модель для расчета теплового баланса радиатора холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство // Вестник Международной Академии Холода. – 2015. – № 1. – С. 39–43.

3. Man Y. et al. A Novel Nocturnal Cooling Radiator Used for Supplemental Heat Sink of Active Cooling System // Procedia Eng. – 2015. – Vol. 121. –P. 300–308.

4. Anderson T., Duke M., Carson J. Performance of an unglazed solar collector for radiant cooling // Aust. Sol. Cool. – Sydney: Australian solar cooling interest group, 2013.

5. Sima J. et al. Theoretical Evaluation of Night Sky Cooling in the Czech Republic // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 48. – P. 645–653.

6. Johansson H. Nocturnal cooling : Study of heat transfer from a flat-plate solar collector [Text] : Master thesis / Johanson Helena. – Karlstad: Karlstadsuniversitet, 2008. – 59 p.

7. Tevar J. Castano S. Modelling and experimental analysis of three radioconvective panels for naight cooling // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 107. – P. 37–48.

8. ELCUTСтуденческий: 6.0.0.1508. – Санкт-Петербург: ООО «Тор».– 2015. – http://elcut.ru/.

9. Цой А.П. и др. Экспериментальная холодильная система, использующая эффективное излучение // МНПК «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостепреимства». – Алматы: Алматинский технологический университет, 2013. – С. 266–268.

10. Zhang S., Niu J. Cooling performance of nocturnal radiative cooling combined with microencapsulated phase change material (MPCM) slurry storage // Energy Build. – 2012. – Vol. 54. P. – 122–130.

11. Мухачев Г.А. Термодинамика и теплопередача : Учеб. для авиац. вузов. 3-еизд. – Москва: Высшая школа, 1991. – 480 с.

12. CoolPack v1.5. – Lyngby-TaarbækKommune: Department of Mechanical Engineering , Section of Energy Engineering at the Technical University of Denmark, 2012. – http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx.

13. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов / С. И. Исаев и др. – М.: Высш. Школа, 1979. – 495 с.

14. Гаврилкин В.П., Куранов Е.А. Аналитическое определение параметров влажного воздуха // Вестник АГТУ. – 2007. – № 37. – С. 148–151.

15. Golaka A.R.T., Exell R.H.B. Night radiative cooling and underground water storage in a hot humid climate: a preliminary investigation // Proc. 2nd Reg. Conf. EnergyTechnol. Towar. a CleanEnviron. – Phuket, 2003. – P. 10–16.

16. Мухачев В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента : Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.

УДК 621.362;621.315.562

РЕКУПЕРАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Цветков О.Б., д.т.н., Новотельнова А.В. к.т.н., Ережеп Д.Е., Тукмакова А.С.,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Российская Федерация
E-mail: darhan1305@gmail.com

Термоэлектрические генераторы представляют собой полупроводниковые термопары и предназначены для прямого преобразования тепловой энергии в электроэнергию. В основе работы

термоэлектрического генератора лежат обратимые термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье, и Томсона (Кельвина). Эффект Зеебека заключается в возникновении электродвижущей силы при наличии разницы температур в контактах замкнутой электрической цепи, состоящей из разнородных проводников. Однако, возникающая в цепи из двух разнородных проводников ЭДС не превышает нескольких милливольт. Для повышения эффективности, как прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, так и обратного, термоэлектрические элементы выполняют из полупроводников *p*- и *n* типов, последовательно соединенных электрически и параллельно термически. Конструкция термоэлектрического генераторного модуля показана на рис. 1 [1].

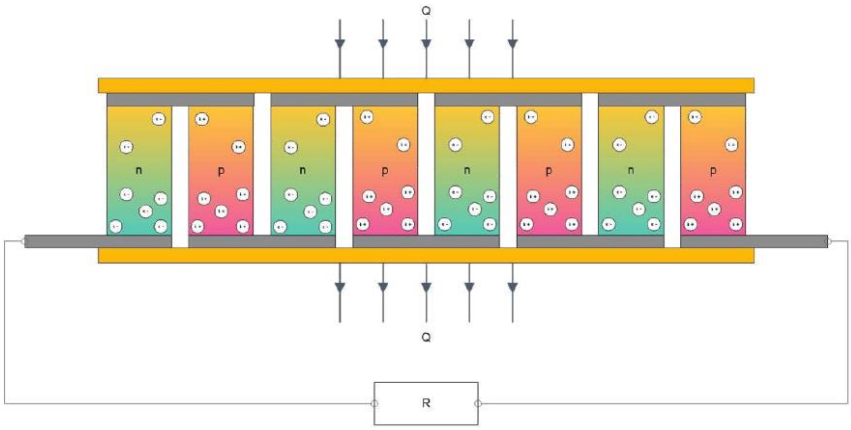


Рисунок 1 - Принцип работы и конструкция термоэлектрического генераторного модуля.

ТЭГ используются в передвижных аналоговых электронных устройствах, питающих трудно-доступные объекты, которые собираются в отдаленных районах Земли, таких как, автоматические метеостанции, морские маяки и т.п. Незаменимы термоэлектрические генераторы в космической аппаратуре. В качестве источников тепла для подвода к горячим спаям ТЭГ: радиоактивные изотопы, ядерные реакторы, солнечные концентраторы различного исполнения и пр.[1-6].

К достоинствам термоэлектрических генераторов относят: большой срок службы, высокая надежность, стабильность параметров и вибростойкость. К недостаткам ТЭГ относят: невысокие относительные энергетические показатели и сравнительно низкий КПД преобразования энергии (5-8%) [7].

В последние годы вырос интерес к термоэлектрическим преобразователям и в автомобильной промышленности. Их использование позволит утилизировать низкопотенциальное тепло, выделяемое при работе автомобильного транспорта.

Термоэлектрические генераторы для автомобильной промышленности, представляют собой батареи кремне–германиевых термоэлектрических элементов, которые по матричному принципу соединены в ветвях последовательно, а ветви могут иметь между собой параллельные соединения. Батареи термоэлектрических элементов заключены в герметичные контейнеры, заполненные инертным газом во избежание окисления и старения полупроводников. Плоские или цилиндрические конструкции ТЭГ снабжаются устройствами для подвода тепла на «горячих» спаях и для его отвода на «холодных» спаях полупроводниковых термостолбиков. Конструкция силовых электровыводов ТЭГ должна обеспечивать одновременно термоплотность и электрическую изоляцию от корпуса (в нашем случае, корпуса автомобиля), что представляет достаточно сложную техническую задачу [8].

Вероятность использования автомобильных термоэлектрических генераторов (АТЭГ) для рекуперации тепловых потерь (РТП) автомобилей (которые достигают > 0,8 от мощности сгорающего топлива Q_0,) и получения при этом дополнительной полезной электрической мощности была рассмотрена в [9].

Дополнительная полезная электрическая мощность$W_e = \eta_{АТЭГ}\, Q_{0АТЭГ}$, где $\eta_{АТЭГ}$ и $Q_{0\ АТЭГ}$–КПДи входной тепловой поток АТЭГ.

Выигрыш в общей мощности автомобиля составит $\Delta W = W_e - \Delta W_{ДВС}$, где $\Delta W_{ДВС}$ – затраты мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на транспорт и обслуживание АТЭГ.

Величина $\eta_{АТЭГ}$мала и составляет менее 0,01–0,03. Имеют место трудности теплообмена на границах между выхлопными газами (ВГ) и автомобильными термоэлектрическими генераторами. В результате этого внедрение АТЭГ долгое время считалось нерентабельным. Однако, в последнее

время интерес к АТЭГ существенно возрос в связи с разработкой новых термоэлектрических материалов с повышенной добротностью ZT ≥ 1, что позволило повысить $\eta_{АТЭГ} \geq 0{,}05$ [10].

В [10] были определены основные требования к эксплуатационным характеристикам автомобильных термоэлектрических генераторов и созданы прототипы серийных АТЭГ, мощность которых W_e^{max} = 0,2– 0,6 кВт достигала ~ 0,3–0,5 от мощности, необходимой для электропитания автомобилей [9]. Попытки дальнейшего увеличения $W_{eАТЭГ}$ наталкивались на технические трудности, в результате сомнения в конкурентоспособности АТЭГ как средства РТП снова усилились.

Влияние тепловых сопротивлений $R_{T\,н}$ теплообменников АТЭГ связано с малыми величины W_e и $W_{АТЭГ}$[7-13]. Согласно правилу Ленца при работе любого источника энергии в режиме максимальной мощности от него в последовательной цепи можно отобрать только ~ ½ полезной мощности (рис.2).

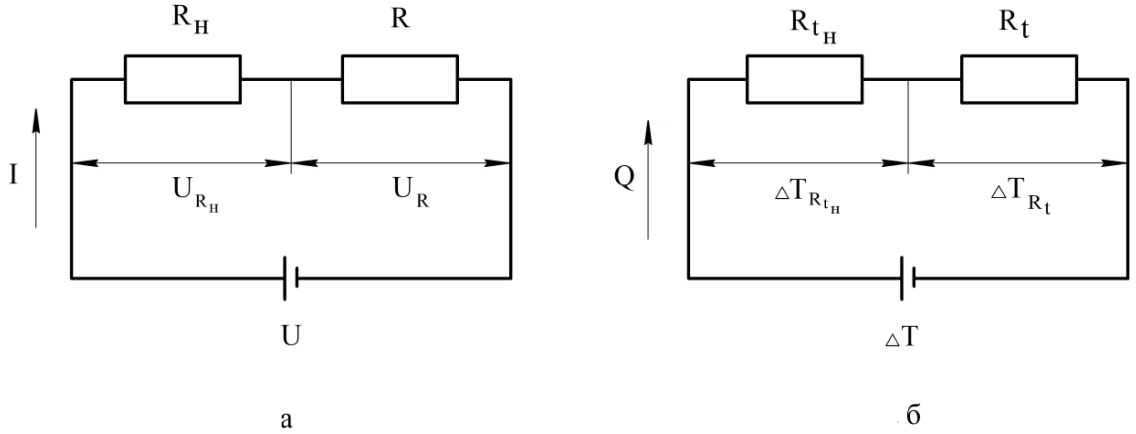


Рисунок 2 – Двойное применение правила Ленца к электрическим (а) и тепловым (б) цепям АТЭГ. $R_н$ и R - электрические сопротивления нагрузки и ветвей АТЭГ, R_t и $R_{t_н}$ – тепловые сопротивления теплообменников и ветвей АТЭГ.

Поскольку АТЭГ является электрической и тепловой машиной одновременно, правило Ленца должно применяться к нему дважды - сначала к тепловым, а затем к электрическим цепям ($R_T \neq 0$) [1]. Однако, при прогнозах характеристик АТЭГ использовалась теория Иоффе, не учитывающая теплового сопротивления теплообменников (R_T= 0) [9,11-12]. Соответственно правило Ленца применялось к АТЭГ однократно и только к его электрическим цепям, в результате получались завышенные прогнозируемые значения W_eи $W_{АТЭГ}$, не согласующиеся с экспериментом [9]. При дополнительном применении правила Ленца к тепловым цепям АТЭГ действующий перепад температур ΔT на ветвях уменьшится в~2 раза по сравнению с располагаемым (б, рис.2), а высота ветвей $l_{опт}$ возрастет в 3–4 раза. В результате ожидаемые значения W_eАТЭГ снизятся в~ 4 раза, $W_{АТЭГ}$– в10–20 раз, что согласуется с экспериментом [13, 14].

Низкие значения W_e и $W_{АТЭГ}$ снижают общую конкурентоспособность АТЭГ как средства РТП автомобилей и сдерживают массовый выход АТЭГ на автомобильный рынок в ближайшее время. В то же время, ограниченные внедрения АТЭГ представляется возможным при реализации специальных энергосберегающих режимов их работы [15].

Для повышения конкурентоспособности АТЭГ ведутся работы по совершенствованию теплообменника АТЭГ и поиску более эффективных термоэлектрических материалов с повышенной добротностью Z. Изучается возможность повышения коэффициента полезного действия $\eta_{АТЭГ}$ путем помещения его горячих спаев в камеру сгорания ДВС, выхлопную трубу и другие перспективные агрегаты автомобиля [16, 17].

На рис.3 представлены основные схемы подключения АТЭГ к источникам и стокам тепла в автомобиле (ДВС, ВТ, СО). Во всех случаях (рис.4) АТЭГ подключается к источнику и стоку тепла параллельно. Последовательное подключение АТЭГ невозможно из-за несовместимости механизмов теплопереноса в автомобиле (массоперенос нагретых газов и воды) и в АТЭГ (термодиффузия электронов и фононов и эффект Пельтье в твердом теле), последние механизмы существенно менее эффективны [10, 18].

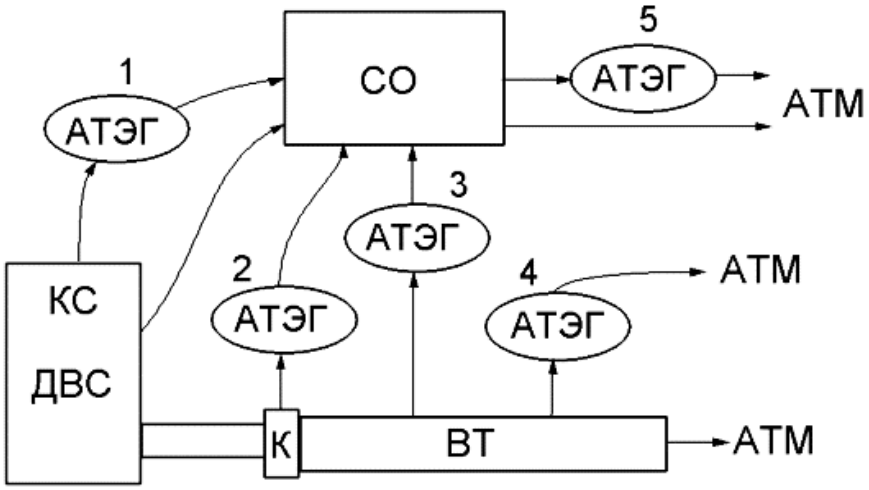


Рисунок 3 – Основные схемы подключения АТЭГ: 1 –КС/ СО; 2 – К/ СО; 3 – ВТ/ СО, 4 – ВТ/ АТМ; 5 – СО / АТМ. Здесь: СО – система водяного охлаждения; К – катализатор; ВТ – выхлопная труба; АТМ – атмосфера. Стрелки показывают направления потоков энергии в системе.

На рис.4 показано изменение теплового баланса гибридного транспортного средства при внедрении термоэлектрического генератора. Главным условием сравнения двух тепловых балансов было равенство количества энергии, затрачиваемой на привод ведущих колес транспортного средства (30 кВт) [19]. Коэффициенты полезного действия всех систем привода гибридного транспортного средства при этом оставались без изменений. Из представленной схемы следует, что в случае внедрения термоэлектрического генератора с коэффициентом полезного действия 5%, преобразующего около 2% тепловой энергии отработавших газов в электрическую, расход топлива снижается примерно на 3%.

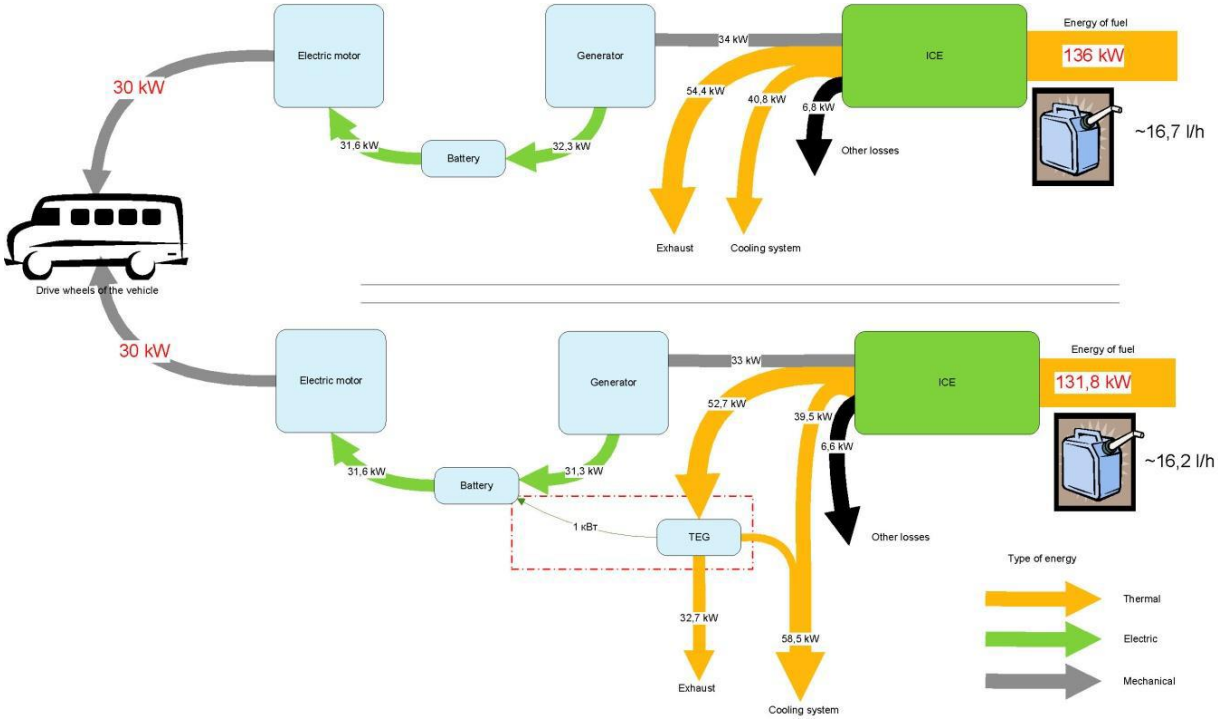


Рисунок 4 - Изменение теплового баланса транспортного средства с гибридной силовой установкой при внедрении термоэлектрического генератора.

Внедрение данной концепции с использованием современных термоэлектрических элементов позволит рекуперировать до 20% тепловой энергии, рассеиваемой двигателем внутреннего сгорания [20].

Эффективность утилизации тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания в составе транспортного средства напрямую зависит от свойств выбранного материала термоэлектрического генераторного модуля. Производительность термоэлектрического генератора можно оценить по величине коэффициента полезного действия η, который зависит не только от используемого материала, но и от перепада температур между холодным и горячим спаем. Для оценки эффективности термоэлектрического материала используется понятие добротности ZT. Добротность термоэлектрического материала и его КПД можно рассчитать следующим образом:

$$\eta = \frac{\sqrt{1+ZT}-1}{1+ZT+\frac{T_X}{T_г}}\frac{T_г-T_X}{T_г},$$

$$ZT = \frac{\sigma a^2}{\lambda}\Delta T,$$

где σ – удельная проводимость, См/м; α – коэффициент термо-ЭДС; λ – удельная теплопроводность, Вт/(м*К); ΔT – разность температур горячей ($T_г$) и холодной (T_x) сторон элемента, К.

Из определения добротности термоэлектрического материала следует, что наряду с высокой термоэдс он должен обладать высокой электрической проводимостью и низкой удельной теплопроводностью, но в одном материале это недостижимо. Поиск эффективных термоэлектрических материалов сводится к компромиссу для заданных условий эксплуатации. На рис. 5 приведены некоторые используемые в настоящее время термоэлектрические материалы и перспективные разработки.

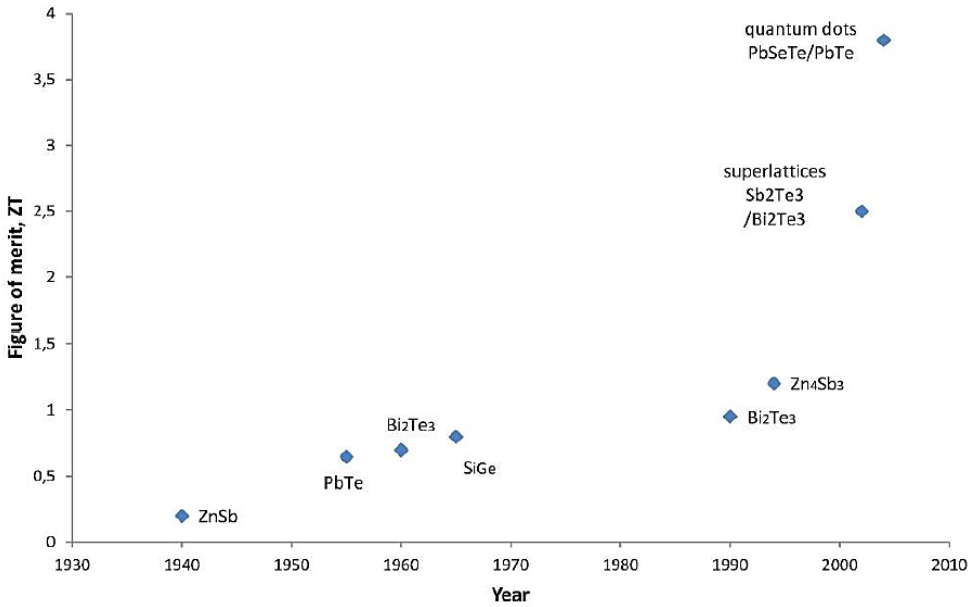


Рисунок 5 - Прогресс термоэлектрических материалов по добротности, ZT.

Начиная с 60-х годов XX в. наибольшее распространение нашли термоэлектрические элементы на основе теллуридов свинца и висмута. Основной причиной широкого распространения теллурида свинца (PbTe), несмотря на невысокую величину термоэлектрической добротности (0,6-0,7), была его низкая себестоимость. Позже он был полностью заменен на теллурид висмута (Bi_2Te_3) с ZT примерно 1,0, что соответствует КПД 5-7% при температуре до 2300°C, но значительно снижается при более высоких температурах. В последующие десятилетия эффективность термоэлементов на основе теллурида висмута неуклонно увеличивалась, но барьер ZT=1 так и не был преодолен. Наряду с описанными теллуридами ограниченное распространение вследствие высокой себестоимости получил силицид германия (SiGe).

Интерес к использованию антимонида цинка в генераторных модулях вновь возник после открытия термоэлектрических свойств, значительно превосходящих таковые теллуридов, у сплава с составом Zn4Sb3. Высокая (порядка 1,2 [21]) термоэлектрическая добротность данного материала в значительной степени обусловлена неоднородностями кристаллической решетки, снижающими его теплопроводность.

Дальнейшие работы по поиску высокоэффективных термоэлектрических материалов направлены на снижение теплопроводности при сохранении низкого электрического сопротивления путем создания в сплаве полупроводников различных наноструктур. В настоящее время ведутся работы по созданию материалов со сверхрешетками (ZT до 2,5) и квантовыми точками (ZT до 3,8) [21, 22]. Таким образом, если современные термоэлектрические генераторные модули с использованием теллурида висмута (III) при ZT < 1 позволяют преобразовать тепловую энергию, утилизируемую с отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания, с КПД 5–8%, тогда применение перспективных высокоэффективных термоэлектрических материалов позволит поднять этот показатель до 20–24%.

На данный момент времени, в мире насчитывается около 1 млрд. автомобилей, которые загрязняют окружающую среду выхлопными газами. Экологические проблемы заставляют обратиться к нетрадидионным технологиям энергетики, в том числе и к утилизации низкопотенциального тепла, выделяемого при работе автомобильного транспорта. Внедрение АТЭГ на автомобильный рынок может иметь значительные перспективы. Серийное производство АТЭГ пока ограничивает низкий КПД термоэлектрических материалов и рост цен на автомобили с термоэлектрическими генераторами, а также затраты на подготовку станции обслуживания АТЭГ. Однако работы по повышению эффективности термоэлектрических устройств ведутся во всем мире. На конференции ICT2015 в Дрездене были представлены образцы автомобилей, оснащенных АТЭГ (рис.6). Это обстоятельство позволяет надеяться на скорый выход этих устройств в серию.

Рисунок 6 – Автомобиль класса EURO 6, оснащенный термоэлектрическим генератором.

Утилизация низкопотенциального тепла с помощью АТЭГ при работе автомобилей уменьшит количество выхлопных газов, увеличит класс экологичности данного автомобиля. Массовое внедрение термоэлектрических генераторов в автомобильной технике позволило бы значительно уменьшить количество выхлопных газов в атмосфере, что привело бы к улучшению экологической обстановки в крупных городах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охотин А.С., Ефремов А.А., Охотин В.С., Пушкарский А.С. Термоэлектрические генераторы. Изд.2 –е перераб. и доп. -М.:Атомиздат, 1976.- 320с.

2. Анатычук Л. И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Термоэлементы. Элементная база термоэлектричества. - Киев: Институт термоэлектричества, 2003.-376с.

3. Иоффе А.Ф., Стильбанс Л.С., Иорданишвили Е.К., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическое охлаждение. - М.-Л.: Изд. АН СССР, 1956.- 108с.

4. Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы/ пер. с англ.- М.: Изд. Дом «Интеллект»: Изд.дом МЭИ, 2010.

5. Булат Л.П. Термоэлектрическое преобразование: состояние и перспективы // Холодильная техника.- 2009.- №26. -С. 54-57.

6. Булат Л.П. Термоэлектрическое охлаждение: состояние и перспективы // Холодильная техника.- 2004.- №8.-С. 2-7.

7. Баукин В. Е., Вялов А. П., Гершберг И. А., Муранов Г. К., Соколов О.Г., Тахистов Ф. Ю. Оптимизация термоэлектрических генераторов большой мощности / Термоэлектрики и их применения. Доклады VIII Межгосударственного семинара.- СПб: ФТИ, 2002.

8. Файнзильбер Э. М., Драбкин Л. М. Автомоб. пром., 1966. -№ 7.-С. 9-10.
9. ViningC.B. //Thermoelectricity, 2008.- №4. -P. 7-19.
10. Коржуев М.А., Катин И.В., Возможные экономические последствия для автомобильной и термоэлектрической отраслей, связанные с началом массового производства АТЭГ. / Термоэлектрики и их применения. Доклады XIII Межгосударственного семинара. СПб: ФТИ, СПб: ФТИ, 2013.-С.534-539.
11. Saqr K., Mansour M. , Musa M.// Thermoelectricity, 2008. -№1.-P. 59-66.
12. Eger A., Linde M. The BMW Group Roadmap for the Application of Thermoelectric Generators. San Diego, BMW, 2011.- 23 p.
13. Anatychuk L.I.,Luste O.J.,Kuz R.V.//JEMS, 2011. v.40. № 5. -P.1326-1331.
14. Korzhuev M.A., GranatkinaYu.V. //Thermoelectricity, 2012. №1.-P.81 - 94.
15. Коржуев М.А., Свечникова Т.Е. //Термоэлектричество, 2013. -№3. -С.58- 75.
16. Анатычук Л.И., Кузь Р.В., Розвер Ю. Ю. //Термоэлектричество, 2011.- №4.-С. 80-85; 2012, №2-С. 97-104; 2014. №2. -С. 61-69; 2014. №3.-С. 91 – 95.
17. TatarinovD., KoppersM., BastianG., SchrammD. //JEMS, 2013. v.42. №7.-P. 2274-2281.
18. Коржуев М.А., Катин И.В., Эффекты взаимодействия двигателя внутреннего сгорания и термоэлектрического генератора при рекуперации тепла выхлопных газов автомобиля// Термоэлектрики и их применения. Доклады Межгосударственной конференции 2014 (ноябрь 2014 г.). СПб: ФТИ, СПб: ФТИ, 2015.-С. 461-466.
19. Khripach, N. Thermoelectric generators of motor vehicle powertrains, problems and prospects / N. Khripach, B. Papkin, V. Korotkov // Life Science Journal. 2014.- № 12.-P. 503–507.
20. Aspects of Thin Film Superlattice Thermoelectric Materials, Devices, and Applications / H. Böttner [et al.] // MRS Bulletin. 2006. V. 31. №. 3.- P. 211–217.
21. Properties of Nanostructured One-Dimentsional and Composite Thermoelectric Materials / A.M. Rao [et al.] // MRS Bulletin. 2006. V. 31. №. 3.-P. 218–223.
22. Toberer, E. S.Composition and the thermoelectric performance of β-Zn4Sb3 / E. S. Toberer [et al.] // Journal of Materials Chemistry. 2010.№ 20.-P. 9877–9885.

УДК 621.565.8

УЧЕТ ХОЛОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПРИБОРОВ ФИРМЫ «ВЗЛЕТ» С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Цой А.П., к.т.н.[1]; Хинтицкая Т.Я., к.т.н.[2]; Ким И.А. к.т.н.[3]; Щока И.М.[4]
1 - Алматинский технологический университет, г.Алматы, Казахстан,
2 - ТОО «ПФ Взлет Казахстан» г.Алматы, Казахстан
3 - Алматы менеджмент университет, г.Алматы, Казахстан
4 - Университет ИТМО, г.Санкт –Петербург, Россия
E-mail: teniz@bk.ru

Хладоносители осуществляют перенос тепла от охлаждаемой среды к холодильному агенту, являются жидкими растворами с низкой температурой замерзания. Распространенными хладоносителями являются хлористый натрий, соли хлористого кальция и водные растворы гликолей. Каждый из хладоносителей имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют выбор технических средств, реализующих системы охлаждения.

В настоящее время, в связи с повышением стоимости энергии в промышленных масштабах, появилась потребность в измерении расхода хладоносителя и вычислении количества холода, потребленное различными абонентами. Учет холодопотребления охлаждаемых объектов можно провести на базе приборов фирмы «Взлет» с модернизированным програмным обеспечением [1,4].

Для учета холодопотребления, расходуемого в охладительных установках, в зависимости от схемного решения, устанавливаются холодосчетчики.

Хладосчетчики состоят из комплекта [1,2,3,4]:

1) Электромагнитный расходомер-счетчик, «Взлѐт ЭМ» исполнения ПРОФИ 222 МО, обеспечивающий измерение расхода агрессивных средств. Диаметры условного прохода расходомера лежат в пределах от 10 мм до 300 мм, что вполне удовлетворительно. Погрешность измерения расхода ± 1,0 % в диапазоне 1:80. Наличие футировки фторопластом проточной части расходомера и электродов из тантала делает применение такого расходомера в холодильных системах, где хладоносителем являются водные растворы солей, особенно привлекательным. Расходомер не подвержен коррозии, имеет степень защиты IP65 и выдерживает давление в трубопроводе 2,5 МПа.

Расходомер обеспечивает измерение текущего расхода и объема жидкости, имеет индикацию с выводом на жидкокристаллический индикатор, а также в виде импульсов с нормированным весом, по последовательному интерфейсу и в виде нормированного токового сигнала. Для включения в линию учета холодопотребления необходимо установить один расходомер-счетчик на входе потребителя холода.

2) Термопреобразователи сопротивления с номинальным значением сопротивления Pt100 и диапазоном измеряемой температуры от минус 50 до плюс 100°С, исполняемые по специальному заказу, предназначены для измерения температуры хладоносителя на входе и на выходе потребителя холода. Преобразователь устанавливается в трубопровод в защитной гильзе, выполненной из нержавеющей стали, устойчивой к воздействию хладоносителя.

3) Датчик давления «Модель А-10» фирмы АО «Wika» с диапазоном измерения от 0 до 600 бар с выходным сигналом в диапазоне от 4 до 20 мА.

4) Тепловычислитель «Взлет ТСР» базе тепловычислителя «Взлет ТСРВ» исполнения 0,26 м (далее ТВ) от минус 50 до 180°С. Имеется устойчивость к внешним воздействующим факторам в рабочем режиме: - температура окружающего воздуха – от 5 до 50°С, относительная влажность – не более 80 % при температуре до 35 конденсации влаги; - атмосферное давление – от 66,0 до 106,7 кПа. Степень защиты ТВ соответствует коду IP54 по ГОСТ 14254. Электропитание ТВ должно осуществляться стабилизированным напряжением постоянного тока значением из диапазона (12-24) В. Питание от сети 220 В 50 Гц. Дополнительно в ТВ имеется аккумулятор, обеспечивающий поддержание работоспособности прибора при перерывах внешнего питания (до 330 часов при пассивном режиме импульсных входов ТВ). Для подсчета количества холода, потребленного абонентом, необходимо провести наладку существующего программного обеспечения, изменив формулы расчета энергии.

Схема работы

Расходомер обеспечивает измерение текущего объемного расхода, передает сигналы в виде импульсов с нормированным весом, по последовательному интерфейсу (в виде нормированного токового сигнала) в вычислитель. Термопреобразователь измеряет температуру хладоносителя в трубопроводе на входе и выходе, при этом дает информацию о повышении температуры на участке между термопреобразователями в виде разности температур. Термопреобразователи передают сигналы в вычислитель в виде повышающейся или понижающейся силы тока. Датчик давления необходим для корректировки измерения скорости в измерительном участке.

Вычислитель, получая данные с первичных преобразователей в виде сигналов, расшифровывает их в цифровые и по заданным алгоритмам вычисляет количество холода, потребленное абонентом. Схема подключения приведена на рис. 1.

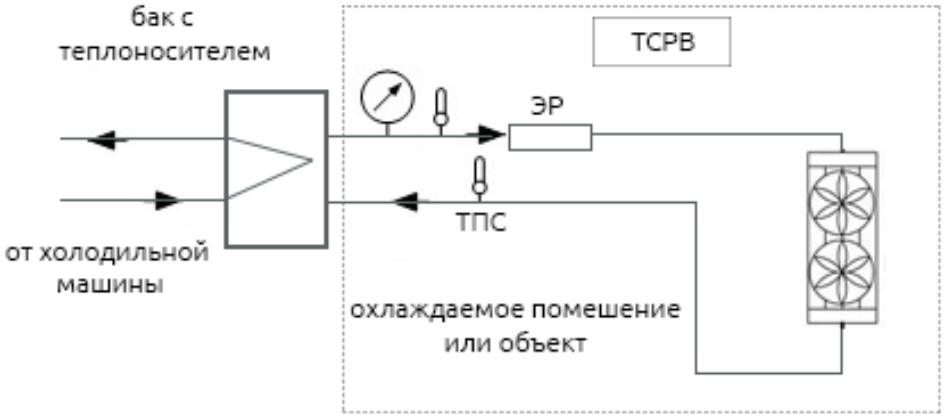


Рис.1 - Организация узла учета холодопотребления

Выводы:

Расходомер может обеспечить работу с агрессивными жидкостями.

С помощью системы приборов с модернизированным программным обеспечением проводится учет потребления холода в отдельных камерах и помещениях. Таким образом, с помощью данного метода учета холодопотребления можно узнать суммарное потребление холода и каждого абонента в отдельности. Это необходимо для объективной оценки стоимости затрат на охлаждение камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расходомер счетчик http://vzljot.ru/catalogue/elektromagnitnyj_metod/vzlet_em_profi_m/ (Электронная версия печатной публикации).

2. Термопреобразователи http://vzljot.ru/catalogue/izmerenie_temperatury/termopreobrazovatelisoprotivleniya/ (Электронная версия печатной публикации).

3. Преобразователь давления http://www.wika.ru/upload/DS_PE8160_ru_ru_35761.pdf.

4. Счетчик регистратор http://vzljot.ru/catalogue/uchet_teplovoj_energii/vzlet_tsr-m_tsr-026m/#docs.

5. Бытовые машины и приборы: учебное пособие ч.1/ Б.Е.Кочегаров, В.В. Лоцманенко, Г.В. Опарин – Владивосток: Издво ДВГТУ, 2009.

6. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л. Энергоэффективность в строительстве. Гармонизация отечественной нормативной базы. //Журнал АВОК. -№ 6. -2012.

УДК 621.565.8

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕДОВЫХ КАТКОВ

Цой А.П., к.т.н.[1];Эйхе А. С., Мустамбаев Н.К.[1]; Цой Д.А.,[3]
1- Алматинский технологический университет, г.Алматы, Казахстан,
2- Университет ИТМО, г.Санкт–Петербург, Россия,
3 - ТОО «Тениз, г. Алматы, Казахстан,
E-mail: teniz@bk.ru, eykhe.alexey@gmail.com.

Энергосберегающие и экологически безопасные технологии с каждым днем становятся все более востребованными. Причины данного явления очевидны: высокая стоимость энергоносителей, их ограниченность, а также загрязнение окружающей среды. Общий расход энергии на ледовых катках можно распределить, как показано на рис. 1. [1].

Рис. 1 - Энергопотребление ледовой арены

Для снижения энергопотребления возможно применить целый ряд энергосберегающих мероприятий.

Рекуперация теплоты вытяжного вентиляционного воздуха.

Расход энергии на вентиляцию внутри помещений составляет приблизительно 35 кВт, при этом вентиляция используется непрерывно. Основное энергосберегающее мероприятие в северных регионах – это рекуперация теплоты, покидающей здание с вытяжным воздухом. Ее можно использовать для подогрева наружного воздуха, подаваемого для вентиляции. Эта мера оказывает существенное влияние на общий энергетический баланс здания. В частности, в данном типовом

здании при использовании роторного рекуператора с 75 % эффективностью можно добиться годовой экономии энергии 250 000 кВт·ч. Это позволяет уменьшить нагрузку на систему отопления [1].

Подогрев грунта под несущей плитой за счет использования сбросной теплоты.

Так как арена используется шесть месяцев в году, необходимо предотвратить замораживание слоя почвы под фундаментной бетонной плитой. В нескольких аренах пришлось заменить бетонную плиту под катком, так как она была повреждена из-за замерзания и вспучивания почвы [6].Для устранения этой проблемы под бетонной плитой устанавливается полистироловая теплоизоляция толщиной 102 мм. Для предотвращения замерзания почвы под теплоизоляцией требуется ее обогрев, средняя потребность в теплоте составляет 14 - 16 кВт. Обогрев используется в течение всех шести месяцев эксплуатации арены. Для обогрева грунта под плитой можно использовать сбросную теплоту конденсатора холодильной машины (отбор теплоты производится в конденсаторе) [5,7].

Рекуперация сбросной теплоты от работы холодильной машины.

Для системы горячего водоснабжения здания и периодического восстановления (обновления) поверхности льда ледовой арены требуется вода с высокой температурой. Для нагрева воды можно использовать теплоту сжатия рабочего газа (хладагента) в компрессоре холодильной машины. Проблема с горячим водоснабжением и водоснабжением для восстановления ледяной поверхности заключается в сильном разбросе расхода воды в течение суток. Из-за этого необходимо предусмотреть накопительные емкости для хранения воды. Для предварительного нагрева воды для горячего бытового водоснабжения достаточно емкости объемом 10$м^3$. При таком объеме воды рекуперированной теплоты от работы холодильной машины достаточно для нагрева 10$м^3$воды до температуры 50 - 70°С. Этого хватит для работы в течение всего дня[10,11,12].

Анализ энергосбережения в некоторых аренах показывает, что рекуперация избыточной теплоты из хладагента достаточна для полного обеспечения потребности в горячем водоснабжении и воды для восстановления поверхности льда. Годовая экономия энергии может достигать 130 000 кВт·ч.[1].

Насосы хладоносителя.

Вместо традиционной схемы с двумя проходами в модифицированной гидравлической схеме можно применить четыре прохода. Это сильно повлияет на энергопотребление рассольного насоса – до 50 %. Во время испытательного периода качество льда не пострадало и не было отмечено каких-либо изменений в характеристиках льда[3]. В одном случае было даже отмечено улучшение характеристик льда на арене с модифицированной четырехзаходной схемой раздачи. Это наблюдение относилось к двум ледовым аренам с единым холодильным центром, из которых одна арена имела четырехзаходную схему раздачи хладоносителя, а вторая – двухзаходную. При этом при более высоком уровне температур (–16 °С) качество льда было лучше на арене с четырехзаходной схемой раздачи [5].

Толщина слоя бетона над трубками и толщина слоя льда на бетонном основании оказывают определяющее влияние на интенсивность теплопередачи. Толщина бетонного слоя должна быть равномерна по всей арене, с тем чтобы толщина слоя льда была минимальна и ограничена 25 мм. Слой бетона над трубками также не должен превышать 25 мм. При толщине бетонного слоя в 102 мм для сохранения качества льда потребуется снизить температуру хладоносителя на 5,5°С [3,5].

Ряд вопросов касается выбора величины скорости хладоносителя в трубке. Для ледовой арены это дает значительную экономию.

Рекуперация теплоты для отопления.

Холодильное оборудование арены также может выполнять функцию теплового насоса. Всю теплоту, отводимую ото льда, можно использовать для отопления помещений, а наружный воздух – для вентиляции. Хотя теплота рекуперируется из вытяжного воздуха, для вентиляции все равно требуется дополнительное количество теплоты. Рекуперированную теплоту от холодильного оборудования можно легко использовать, так как она не требует высокой температуры конденсации [4]. Более того, рекуперация теплоты не оказывает отрицательного влияния на производительность холодильных компрессоров[7].

Конденсаторы с теплообменниками – рекуператорами теплоты можно использовать для обогрева помещений. Необходимо использовать низкотемпературное отопительное оборудование, которое не требует высокой температуры конденсации (38°С).

Энергии, полученной при полной рекуперации теплоты с холодильного оборудования, будет достаточно практически для всего отопления и вентиляции. Это даст общую экономию энергии 475 000 кВт·ч в год [1].

Повышение энергоэффективности системы освещения.

Для снижения энергопотребления арены можно повысить энергоэффективность системы освещения. Светильники над ледяным полем обладают большим тепловым излучением и поэтому они создают дополнительную нагрузку на холодильную систему[7]. Для арен можно использовать творческий подход к освещению. Положительный опыт был получен при использовании флуоресцентных систем освещения Т-5 и Т-8, так как они позволяют изменять освещение в зависимости от активности занятий на ледовом катке. Уровень освещения можно адаптировать к типу активности. Не всегда требуется высокий уровень освещения. Более эффективное освещение может снизить расход энергии на 50 000 кВт·ч в год [2].

Использование высокоэффективного холодильного оборудования.

В отношении холодильного оборудования можно применить определенные меры энергосбережения, такие как: регулирование давления конденсации, предварительное охлаждение жидкости, электронные терморасширительные вентили (ТРВ), испарители с полностью затопленной поверхностью нагрева, приводы переменной частоты на компрессорах, аккумуляция тепла и т. д. Лучший инструмент для оценки преимуществ конкретных улучшений – это моделирование работы холодильного оборудования [1]. Часто снижение энергопотребления холодильного оборудования оказывается невозможным, если для отопления требуется рекуперация тепла при более высоком давлении конденсации. Переохлаждение жидкости необходимо при использовании альтернативных хладагентов, таких как R-410 или R-507. Снижение давления конденсации улучшит холодильный цикл, но, если требуется рекуперация теплоты, давление конденсации следует повысить [5].

Если требуется теплота, ее всегда лучше рекуперировать из холодильного оборудования, а не улучшать сам холодильный цикл. Можно улучшить холодильное оборудование, но здание всегда следует рассматривать как единую систему, а не фокусироваться исключительно на холодильном оборудовании.

Улучшение охлаждения позволит уменьшить энергопотребление на 30 %, что соответствует 120 000 кВт·ч за полгода. Использование энергоэффективного оборудования обязательно, если рекуперация теплоты осуществляется при помощи теплового насоса с водяным контуром вместо системы с рекуперацией теплоты непосредственно с конденсатора [2,5].

Применение системы охлаждения с использованием эффективного излучения в космическое пространство.

В последнее время наблюдается стабильный интерес к пассивным способам охлаждения. Их использование дает возможность снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также сократить энергопотребление холодильных систем.

Излучение земной поверхности происходит непрерывно. Чем выше температура излучающей поверхности, тем интенсивнее ее излучение. Оно направлено в атмосферу и почти полностью поглощается ею.

Атмосфера, в свою очередь, также излучает тепло частично в космическое пространство и частично в направлении к земной поверхности. Часть атмосферного излучения, приходящего к земной поверхности, называют встречным излучением.

Только 12 % ночного земного излучения проходит через атмосферу и уходит в космос; это так называемое уходящее излучение. Остальная часть создает как бы нисходящий обратный (отраженный от атмосферы) поток энергии, направленный к Земле. Его обозначают как противоизлучение атмосферы. Поэтому, общая величина земного излучения уменьшается. Подобный лучистый обмен между поверхностью Земли и атмосферой называют эффективным излучением земной поверхности [13].

Суточный ход эффективного излучения характеризуется максимумом в 12-14 ч и минимумом перед восходом солнца. Годовой ход эффективного излучения в районах с континентальным климатом характеризуется максимумом в летние месяцы и минимумом в зимние. Эффективное излучение в зависимости от метеорологических условий региона можно использовать для охлаждения и применять как дополнительную холодильную систему к основной машине [10].

Проведенное экспериментальное исследование эффективного излучения поверхности льда открытого катка «Медеу» показало, что температура ледового поля в ночное время понижается ниже температуры воздуха в среднемна 10 °С[10].

Таким образом, в результате действия эффективного излучения «охлаждающего эффекта небосвода» происходит понижение температуры поверхности льда открытого катка ниже температуры воздуха. Данный эффект может быть использован в системе холодоснабжения открытых катков для экономии электроэнергии с применением аккумуляторов холода [11.12]. Аккумулируя холод в ночное время и используя его в дневное время при повышении тепловой нагрузки в результате повышения

температуры окружающего воздуха и падения солнечной радиации, вызывающей пиковую нагрузку. Как показывают экспериментальные данные, в дневное время превалирующим теплопритоком на ледовое поле открытого катка является солнечная радиация [13].

В летний период холодильная система открытого катка останавливается, но бетонное поле открытого катка может быть использовано в схеме теплового насоса для получения тепла. Так как поле открытого катка представляет собой практически готовую техническую систему для работы холодильной машины в режиме теплового насоса.

Таким образом, холодильная система в летнее время работает на кондиционирование воздуха, дополнительно можетиспользовать тепло с бетонного поля для получения высокопотенциальной энергии, идущей на горячее водоснабжение и другие технические нужды.

Заключение

При анализе энергоэффективности ледовых катков следует рассматривать как единое целое со всеми техническими и архитектурными системами. Поскольку кроме холодильной нагрузки имеется потребность в обогреве, холодильная система должна функционировать как тепловой насос, перекрывающий часть потребности в теплоте. При реализации всех вышеописанных энергосберегающих мероприятий на стандартной ледовом катке, можно достигнуть снижения годового энергопотребления на 45-50 %. Использование ночного холода в результате эффективного излучения в космическое пространство ледового поля открытых катков позволит дополнительно уменьшить энергопотребление холодильной системы. Мероприятия, проводимые в целях снижения энергетических затрат, положительно скажутся и на экологическую ситуацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергоэффективные здания. Технологии энергосбережения. //Интернет журнал Авок. - №7. - 2009 г.

2. Рекомендации по проектированию инженерного оборудования искусственных катков (хладотехническая часть). -ЛенЗНИИЭП Госгражданстроя СССР. -Л., 1972.

3. Лихтенштейн Э. Л. Исследование температурного поля искусственного катка: Автореферат дисс. на соискание степени канд. техн. наук. Новосибирск, 1970.

4. СНиП РК 2.04-01-2010 «Строительная климатология», Изд.: Агентство по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Алматы, 2011г.

5. Гранев В.В., Лейкина Д.К., Моторин В.В. Многофункциональные спортивные комплексы. – М., 2011.

6. СП 50.13330.2011. Тепловая защита зданий.

7. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л. Энергоэффективность в строительстве. Гармонизация отечественной нормативной базы. //Журнал АВОК. -№ 6. - 2012.

8. Панкратов В.В., Шилкин Н.В. Особенности климатизации ледовых арен. //Журнал АВОК. - № 8. -2009.

9. Наумов А.Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий. //Журнал АВОК. - № 7. - 2009.

10. Цой, А. П., А.В.Бараненко, Эглит А.Я. Использование эффективного излучения в холодильной системе открытого катка //Вестник Международной Академии Холода. – 2012. -№ 4. -С. 8–11.

11. Оніщенко В. П., Хоменко О. В. Акумулятори холоду. //Холод, М+Т, 2003. - №4.-С. 32–35.

12. Инфракрасное излучение. Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=3623&cat_id=&page_id=8

13. Цой А.П., Грановский А.С., БараненкоА.В., Эглит А.Я. Анализ холодильных систем, использующих тепловое излучение земной поверхности в космическое пространство. / III-я Международная научно-техническая конференция «Казахстан-Холод 2013» - Ж. «Вестник АТУ».- №1.- 2013.-С. 57-59.

УДК 621.56

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АККУМУЛЯТОРОВ ХОЛОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНОГО ЛЬДА

Цой А.П[1]., к.т.н., Круглов А.А[2]., к.т.н., Тазитдинов Р.Р[2].
1 - Алматинский технологический университет, Казахстан
2 - Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Россия
E-mail: teniz@bk.ru, t.r_92@mail.ru

Бинарным льдом (iceslurry) называют смесь, состоящую из мелких кристаллов льда и жидкости. В основном, используется раствор, состоящий из пресной воды и депрессантов (этиленгликоль, этанол, хлорид натрия и др.). Существует несколько способов получения бинарного льда [1]. Самый

распространённый метод получения бинарного льда – намораживанием на теплопередающей поверхности испарителя, теплообменника труба в трубе, внутри которого вращаются скребки, вибрирующие стержни или винты, которые снимают частицы льда с поверхности. На рисунке 1 показана схема такого генератора льда, детали конструкции и подробный принцип работы описан в [2]. Генератор бинарного льда имеет холодильный коэффициент равный 2,4 при температуре окружающей среды 25°С. В зависимости от условий эксплуатации, он может работать, как обычный чиллер (для охлаждения воды) или как генератор бинарного льда с массовой долей ледяных кристаллов до 35%. Из 6-10% раствора этиленгликоля образуются ледяные кристаллы со средним размером 100 мкм.

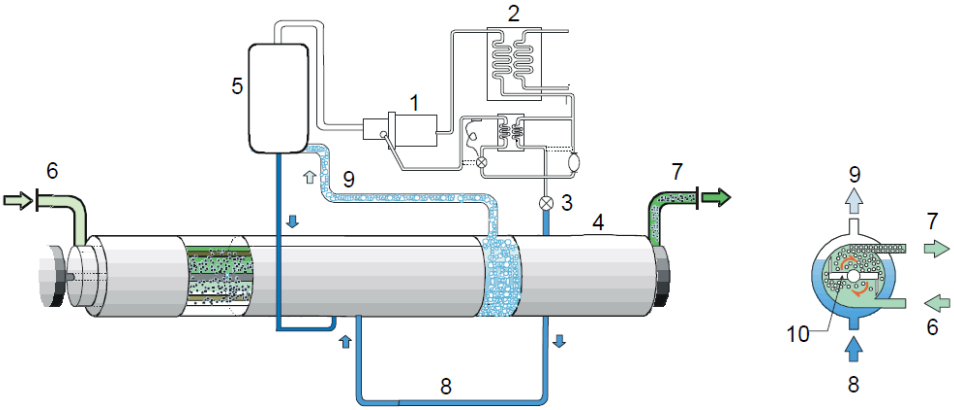


Рисунок 1 - Схема установки получения бинарного льда (SunwellJapanCorp., Япония).
1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – расширительное устройство; 4 – испаритель; 5 – всасывающий барабан; 6 – раствор; 7 – бинарный лед; 8 – жидкий хладагент; 9 – газообразный хладагент; 10 – скребок

Аккумуляторы холода с использованием бинарного льда имеют множество преимуществ по сравнению с другими технологиями. Например, емкость аккумулятора холода, использующего смесь с массовой долей льда 50%, в 9 раз меньше, чем емкость при использовании ледяной воды. Это объясняется высокой энергоемкостью льда за счёт скрытой теплоты плавления. Бинарная смесь с массовой долей льда 30% потенциально может улучшить эффективность системы за счёт уменьшения объема циркулирующей воды более чем на 80%, или же увеличить охлаждающую способность в 6 раз при тех же тепловых нагрузках и мощностях на перекачивание хладоносителя. Кроме того, бинарный лед имеет гораздо лучшую способность справляться с колебаниями тепловой нагрузки, благодаря большой поверхности теплообмена, создаваемой многочисленными кристаллами льда, имеющими высокую теплоемкость. Еще одной важной особенностью бинарного льда является возможность его перекачивания центробежными насосами. Поскольку бинарный лед можно перекачивать из одного места в другое, генератор льда и резервуар для хранения могут располагаться в разных помещениях.

Первая теплоаккумулирующая установка, с использованием бинарного льда, была установлена в 1983 год канадской компанией Sunwell [4]. С тех пор было достигнуто значительное развитие в технологии и области его применения. Японская компания Sunwell является крупнейшим поставщиком теплоаккумулирующих установок с использованием бинарного льда. Ими было разработано и модернизировано около 200 установок различных масштабов. В статье рассматриваются технологии аккумулирования бинарного льда, применяемые в различных установках по всему миру.

1 Типы систем аккумуляторов холода с использованием бинарного льда

Существует много установок аккумуляторов холода, использующих бинарный лёд. Большинство таких установок применяется в системах кондиционирования воздуха. Кроме того, они находят применение в пищевой промышленности для быстрого охлаждения фруктов и овощей, в рыбной промышленности (охлаждение рыбы на борту судов и на суше), в медицине, на сыродельных, мясоперерабатывающих, молочных и пивоваренных заводах. В основном применяют три типа систем хранения с использованием бинарного льда.

1.1 Гомогенное хранение бинарного льда

На рисунке 2 показана схема системы с гомогенным хранением бинарного льда. Опытная установка такого типа была установлена в мясном магазине в Бельгии [5].

Раствор, представляющий собой смесь воды, этанола и присадок, из емкости с помощью насосов подается в генераторы льда. При температуре минус 3,8°С, на поверхности испарителя начинают образовываться ледяные кристаллы. Затем эти ледяные частицы соскабливаются

механическими скребками с поверхности испарителя и отправляются в емкости для хранения. В резервуаре ледяные кристаллы перемешиваются механическими мешалками с раствором, образуя ледяную суспензию. Оттуда уже бинарный лед отправляется к потребителям холода: холодильным камерам, витринам, технологическим помещениям, а также в конденсаторы систем глубокой заморозки. Часть кристаллов бинарного льда тает по мере отвода теплоты в системах охлаждения и в конденсаторах низкотемпературных систем. Раствор возвращается в емкость, куда снова поступают ледяные кристаллы. Ночью, когда потребность в охлаждении, как правило, низкая, емкости для хранения пополняются раствором с высоким процентом ледяных кристаллов. В течение дня, энергия ледяных кристаллов постепенно расходуется.

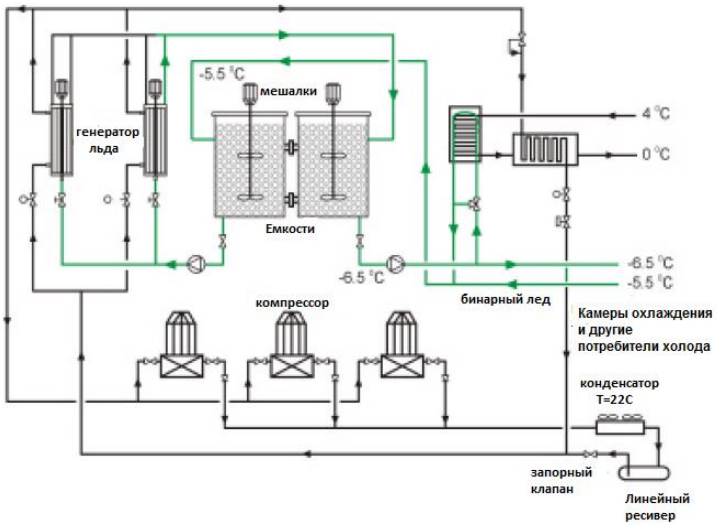


Рисунок 2 - Схема установки, использующей гомогенное хранение бинарного льда.

Установки гомогенного хранения бинарного льда, уже используются на крупных предприятиях с большим потреблением холода, например, на «Jura-Fleisch» (Баварский мясоперерабатывающий завод, на юге Германии) [6]. На «Jura-Fleisch» используют две холодильные машины для производства бинарного льда, с общей холодопроизводительностью 230 кВт и емкостью для гомогенного хранения льда объемом 36 м^3. Эта установка обеспечивает охлаждение 35 потребителей холода, с общей максимальной холодопроизводительностью 385 кВт и суммарной нагрузкой в течение дня 5494 кВт·ч. Стоимость единицы холода составляет 0,094 евро/(кВт·ч), что на 18% меньше, чем при применении систем на базе чиллеров [7].

Помимо привлекательных особенностей, установки с гомогенным хранением бинарного льда имеют некоторые недостатки. К ним можно отнести необходимость круглосуточного перемешивания бинарной смеси мешалками. По мнению ряда поставщиков подобных систем, энергопотребление варьируется от 70 до 1000 Вт/м^3, в зависимости от массовой доли льда, конфигурации бака, и концентрации депрессанта. Массовая доля льда при гомогенном хранении ограничивается 20 – 30%, это вызвано высоким потреблением энергии при перемешивании и агломерацией (слипанием) кристаллов льда. Проведённые всесторонние исследования процесса агломерации бинарной смеси (с различной массовой долей льда) в трубопроводах, клапанах, фитингах и насосах [1, 9], позволили найти два метода, успешно решающих эту проблему. Первый метод предлагает использовать бинарную смесь в диапазоне, при котором она ведет себя как ньютоновская жидкость, то есть с массовой долей льда менее 20%. Другой метод заключается в возврате после теплообменника раствора, не содержащего кристаллов льда.

1.2 Гетерогенное хранение бинарного льда с подачей охлажденного раствора потребителю

Большинство установок, использующих бинарный лед, принадлежат именно к этому типу, они применяются в кондиционировании воздуха и в других отраслях промышленности. На рисунке 3 показана установка с гетерогенным хранением бинарного льда. Такая система используется на сырном заводе в Хэнфорде, штат Калифорния, США [10]. В качестве тепловых нагрузок служат различные технологические процессы при производстве сыра, требующие как мгновенного охлаждения, так и охлаждения в течение нескольких часов. Например, пиковая нагрузка приходится на 6.00 – 7.00 часов утра и составляет 197 кВт. Суммарная нагрузка в течение дня составляет порядка 2548 кВт·ч. Для выравнивания пиковых нагрузок был разработан генератор бинарного льда

холодопроизводительностью 77 кВт и емкостью для гетерогенного хранения объемом 26 м^3, способной накапливать 764 кВт·ч холода.

Генератор льда производит ледяные кристаллы из водного раствора пропиленгликоля, после чего они оправляются в емкость для хранения, в которой ледяные частицы скапливаются в верхней части, из-за разницы плотностей жидкости и льда. При возрастании тепловой нагрузки, из нижней части емкости холодный раствор насосами подаётся к объектам охлаждения. Возвращаемы раствор распределяется через форсунки в верхней части емкости. Температура выходящего из емкости раствора равна минус 2,7°С, но может варьироваться до плюс 1,1°С, в зависимости от содержании ледяных частиц в емкости.

В системах такого типа исключается агломерация ледяных частиц при хранении и транспортировке, в отличие от гомогенного хранения бинарного льда.

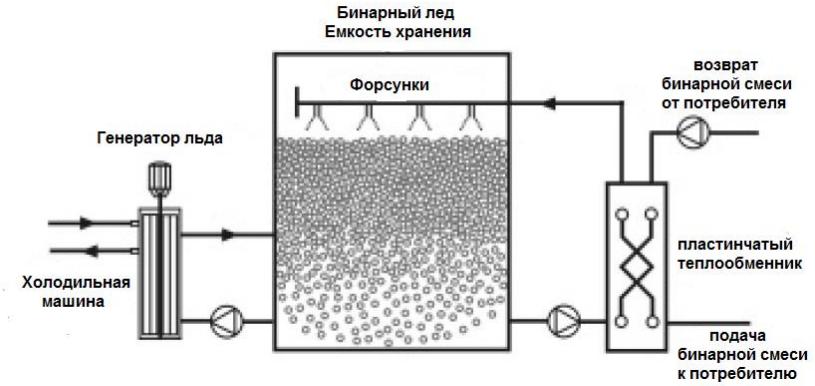


Рисунок 3 - Схема установки гетерогенного хранения бинарного льда

1.3 Гетерогенное хранение бинарного льда с подачей ледяной суспензии потребителю

Установки такого типа применяются в основном при непосредственном охлаждении продукта бинарным льдом (ледяной суспензией) [13]. Такие установки нашли широкое применение в рыбной промышленности и охлаждении рыбы на морских суднах. На рисунке 4 представлен пример системы производства бинарного льда, используемой на консервном заводе в Майне, США [14]. Она использует генератор льда производительностью 16 т/день, емкость для хранения объёмом 62 м^3 и бак с мешалкой объемом 1,2 м^3.

Одной из важнейших особенностей данного типа систем является ее высокая аккумулирующая способность. Максимальная массовая доля льда в емкости для хранения может достигать 50%, это выше чем в системах с гомогенным хранением. К другим преимуществам можно отнести возможность получения бинарного льда на основе пресной воды, без каких-либо добавок, а также возможность регулировать содержание массовой доли льда в бинарной смеси от 0 до 100%. Следует отметить, что такой тип системы обычно дороже и сложнее, чем установки с гетерогенным хранением льда и подачей охлажденного раствора потребителю. Они могут считаться хорошей альтернативой системам, использующим гомогенное хранение льда, при больших пиковых нагрузках.

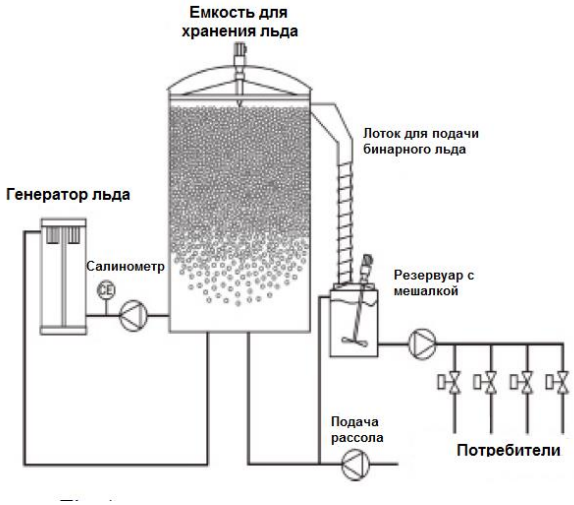


Рисунок 4 - Схема установки гетерогенного хранения с подачей бинарного льда потребителю.

Выводы

В качестве современной и эффективной технологии аккумулирования холода установки, использующие бинарный лед, получили значительное признание в различных отраслях. Конструкция и способ хранения бинарного льда определяется особенностями применения и требованиями потребителя к установке. А такие преимущества применения бинарного льда, как энергосбережение и экологичность, являются всё более востребованными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hansen TM; Radosevic M; Kauffeld M (2002) Behaviour of ice slurry in thermal storage systems. ASHRAE Report: Project RP 1166.

2. Wang MJ; Goldstein V (1996) A novel ice slurry generating system and its applications. Refrigeration Science and Technologies Proc - Applications for Natural Refrigerants: 543-551, DTI, Aahrus, Denmark

3. Wang MJ; Kusumoto N (2001) Ice slurry based thermal storage in multifunctional buildings. Heat and Mass Transfer 37.-P. 597-604

4. Sukhwal RN; La D; Goldstein V (1986) Sunwell'sbinotherm system – an improved ice thermal storage for air conditioning. Singapore National Committee World Energy Conference.

5. Van Bael J (1996) Flo-Ice as a carrier for cold. CADDET Energy Efficiency Newsletter 4/1996.-P. 8:10.

6. Schmit HG (1998) Binäreis halt Jura-Fleisch "edel". Die Kälte&Klimatechnik 7/1998.-P. 462- 472.

7. Paul, J; Malter L; Münster U (1999) Generation and utilization of liquid ice (binary ice). 20thInt Congress of Refrigeration, Sydney, Sept 19-24, 1999.

8. Wetzler J (1999) BinäreisimAllgäuerBrauhaus. KälteKlimaAktuell 5/1999.-P.63:64.

9. Snoek CW (1993) The design and operation of ice-slurry based district cooling systems. IEA Rep 1993.-P.7.1

10. Gladis SP (1997) Ice slurry thermal energy storage for cheese processing cooling. ASHRAE Transction: 103 (Part2).

11. Kirby P; Nelson PE (1998) Ice slurry generator. IDEA Conference, San Antonio, Texas, June, 1998.

12. Inoue Y; Sugiura S; Murakami K; Kotera N (1995) Thermal comfort and climate control. ASHRAE J 38(Oct).-P. 28-32.

13. Wang MJ; Goldstein V (2003) Ice slurry: advanced fish chilling and preservation technology. American Fisheries Society Symposium 38.-P.379–386.

14. Wang MJ; Hansen TM; Kauffeld M; Christensen KG; Goldstein V (1999) Application of ice slurry technology in fishery. 20th Int Congress of Refrigeration,Sydney, Sept 19-24, 1999.

УДК 697.7

КОМПЛЕКСНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

*Стояк В.В., к.т.н., проф., АУЭС, *Кумызбаева С., АУЭС, Ибрагимова М.В, АУЭС, Апсеметов А.А. ТОО «Energy-Service Express», г. Алматы, Республика Казахстан*
E-mail:saule.kumyzbayeva@gmail.com

Энергоснабжение отдаленных, труднодоступных сельских территорий, а также объектов, которые испытывают недостаток в электрической и тепловой энергии, является актуальной задачей для Казахстана, решение которой предусмотрено в ряде ключевых правительственных программ на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

Занимая девятое место в мире по площади, Казахстан по плотности населения находится на одном из последних мест. Сложные температурные условия, жаркое засушливое лето на юге республики с температурой до 45°С и холодная, продолжительная зима в северных и восточных регионах, где температура опускается ниже - 50°С, накладывают особые требования к качеству и надежности энергоснабжения.

Количество населенных пунктов, не имеющих централизованного энергоснабжения, по официальным данным составляет порядка 5000. Более 180 тыс. хозяйств не подключены к электрическим сетям. Как следствие, наблюдаются негативные явления внутренней миграции сельского населения. Производительность сельскохозяйственного труда в РК в несколько раз ниже, чем в развитых европейских государствах. Велики потери сельскохозяйственной продукции в результате недостаточной энерговооруженности производства. Отсутствие (недостаточность)

энергоснабжения препятствует внедрению современных технологий в сельском хозяйстве отрицательно сказывается на темпах развития МСБ в регионах. Как следствие, объем валовой продукции сельского хозяйства едва превышает 4% ВВП страны.

Имеет место неудовлетворительное качество и надежность централизованного электроснабжения ряда населенных пунктов, обусловленное физическим износом сетевого оборудования и сложными температурными условиями.

Для малонаселенных СНП наблюдаются недопустимо высокие транспортные энергопотери малонагруженных протяженных линий электропередач распределительных сетей.

В настоящее время, при отсутствии централизованного электроснабжения, энергоснабжение, как правило, обеспечивается за счет генераторных станций на основе дизельных (или газопоршневых) двигателей, осуществляющих моногенрацию электроэнергии. Энергетическая эффективность таких систем обычно не превышает 30%. При этом остальная энергии топлива рассеивается в окружающей среде.

Теплоснабжение, главным образом, обеспечивается печным отоплением на твердом топливе. Энергетическая эффективность таких печей, как правило, составляет- 50-70%

Существенным прогрессом можно считать применение когенерационных систем (одновременное производство электрической энергии и тепла одной установкой), в которых утилизируется тепло выделяемое двигателями внутреннего сгорания в целях теплоснабжения [1-3]. В настоящее время рядом компаний производятся когенерационные установки, работающие на газообразном и/или жидком топливе. Известны агрегаты с единичной мощностью от 5 кВт до 5 МВт и более. Такие установки применяются в качестве комплексного тепло- и электроснабжения, начиная с одноквартирного дома до жилого района или промышленного предприятия.

Энергетическая эффективность энергоснабжения с применением когенерационных установок, при благоприятном сочетании электрической и тепловой нагрузок, может достигать 80-85%.

Эффективность когенерационных установок наблюдается при примерном соотношении электро- и теплопогенерации 40/60. Очевидно, что для объектов жилищно-коммунального и социально-бытового назначение такое соотношение будет выполняться лишь в непродолжительные периоды времени весной и осенью. Летом, при значительном снижении тепловой нагрузки, большая часть генерируемого тепла должна быть отведена в окружающую среду, зимой потребуется производить большую часть тепловой энергии в отопительных котлах. Как следствие, средняя годовая эффективность эксплуатации таких когенерационных систем в условиях резко-континетального климата Казахстана не превысит 50-60%.

Начиная с 50-х годов прошлого столетия интенсивного развивается направление по применению геотермальных теплонасосных (ГТН) технологий для теплоснабжения и кондиционирования [4-8].

Тепловые насосы в сочетании с устройствами сбора низкопотенциального тепла верхних слоев земли (геотермального тепла) обладают весьма высокой энергетической эффективностью.

В реальных условиях геотермальные тепловые насосы с электрическим приводом способны генерировать (трансформировать) тепловую энергию в 3-6 раз большую затраченной электрической энергии [3]. Следует отметить, что геотермальное тепло является неисчерпаемым возобновляемым источником энергии, доступно в любых температурных зонах и не подвержено влиянию погодных условий.

Несмотря на определенные преимущества, ГТН не находят широкого применения в Казахстане. Основными причинами этого являются высокая стоимость импортного оборудования, неизбежное увеличение электропотребления и отсутствие достаточной инфраструктуры – проектных, монтажных и сервисных организаций.

Ситуация с перспективой применения ГТН в отдаленных районах (в условиях недостаточности и/или ненадежности электроснабжения от линий электропередач и весьма высокой стоимостью электроэнергии генерируемой ДГС на месте) представляется еще более драматичной.

В Алматинском университете энергетики и связи на базе лаборатории «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии и интенсивное энергоснабжение» (НВИЭиИЭ) создан прототип Тригенерациооной установки – нового поколения энергогенерирующего оборудования для комплексного автономного энергоснабжения отдаленных объектов.

Это оборудование обладает комплексом качеств, обеспечивающих его конкурентоспособность:

– непрерывное, качественное комплексное энергоснабжение (электроэнергия, тепло и холод) потребителей с различными структурами энергопотребления;

– максимально достижимая на современном уровне развития техники эффективность использования углеводородного топлива;

– максимально возможное замещение ископаемого топлива всепогодной возобновляемой низкопотенциальной тепловой энергией верхних слоев земли;

– возможность интеграции в систему генерирующих мощностей на основе других видов возобновляемой энергии (энергии ветра - ВЭС, гидродинамической энергии воды - микроГЭС, солнечных коллекторов и фотоэлектрических станций) в экономически обоснованных объемах и составе, как способ дальнейшего снижения расхода ископаемого топлива;

– полная автоматизация процессов производства, распределения и потребления энергоносителей, включая применение беспроводных сенсорных систем контроля и управления, исключающая вмешательство обслуживающего и/или дежурного персонала;

– максимально достижимая продолжительность периодов между профессиональными техническими обслуживаниями и капитальными ремонтами;

– возможность создания пилотных образцов и освоение промышленного производства на имеющемся технологическом оборудовании предприятий республики с последующим наращиванием Казахстанского содержания;

– возможность адаптирования силовой установки к широкому спектру первичных топлив, используемых в ДВС, исходя из конкретных условий применения, в том числе нетрадиционных, таких как: попутных нефтяной газ, метан угольных пластов, синтез-газ, биогаз и т.п.;

– срок окупаемости оборудования при серийном производстве не должен превышать 5-7 лет.

На основе анализа современных достижений в области создания эффективных энергоисточников для комплексного автономного энергоснабжения [9-11] авторами работы сделано предположение о перспективности применения следующих процессов:

– сложная когенерация - производство электрической энергии в системе ДВС в сочетании с электрогенератором и тепловой, за счет утилизации тепловых выбросов ДВС и трансформации низкопотенциального тепла компрессорными тепловыми насосами с непосредственным механическим приводом от ДВС;

– тригенерация – одновременное производство электроэнергии, тепла и холода, может осуществляется на оборудовании аналогичном предыдущему при использовании более одного компрессора теплового насоса и/или с применением реверсируемого теплового насоса;

Ключевой задачей при создании такого оборудования является прогнозирование энергетической эффективности системы энергоснабжения в условиях, когда разница температуры наружного воздуха в течение года очень велика. В связи с чем, группой сотрудников лаборатории «НВИЭиИЭ» «АУЭС» разработан специальный программный продукт в среде LabView[14], который позволяет проводить расчет требуемой мощности системообразующих агрегатов в зависимости от схемы энергоснабжения, определять энергетические показатели системы, годовой расход топлива и выбросы CO2 [15-17].

Программа работает в четырех режимах для схем энергоснабжения:

–Моногенерация (MG) – раздельная генерация электрической энергии в дизельном (газопоршневом) генераторе и тепла в водогрейном котле.

–Когенерация (CG) – комбинированное производство тепла и электрической энергии в дизельном(газопоршневом) генераторе с дополнительным отопительным котлом.

–Сложная когенерация (CCG)- комбинированное производство тепла и электрической энергии в дизельном (газопоршневом) генераторе с интегрированной теплонасосной установкой

– Тригенерация (TG) – полная выработка всех видов энергий в одной установке.

Обобщенная техническая структура тригенерационной установки в режиме работы «Тригенерация», («ТГ») (одновременное производство электроэнергии, тепловой энергии и холода)

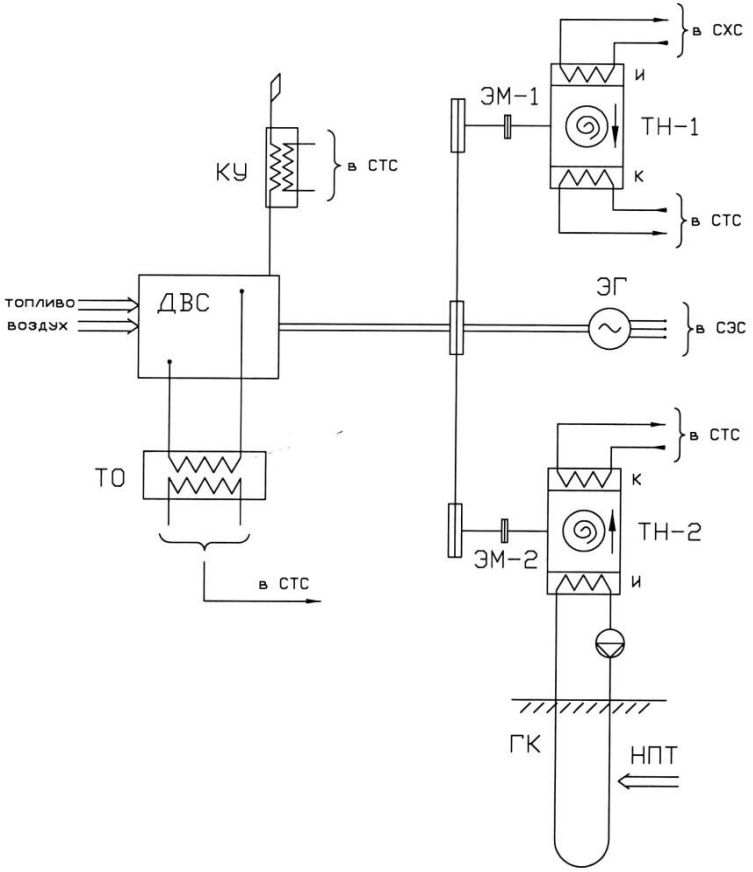


Рисунок 1 – Техническая структура ТГУ

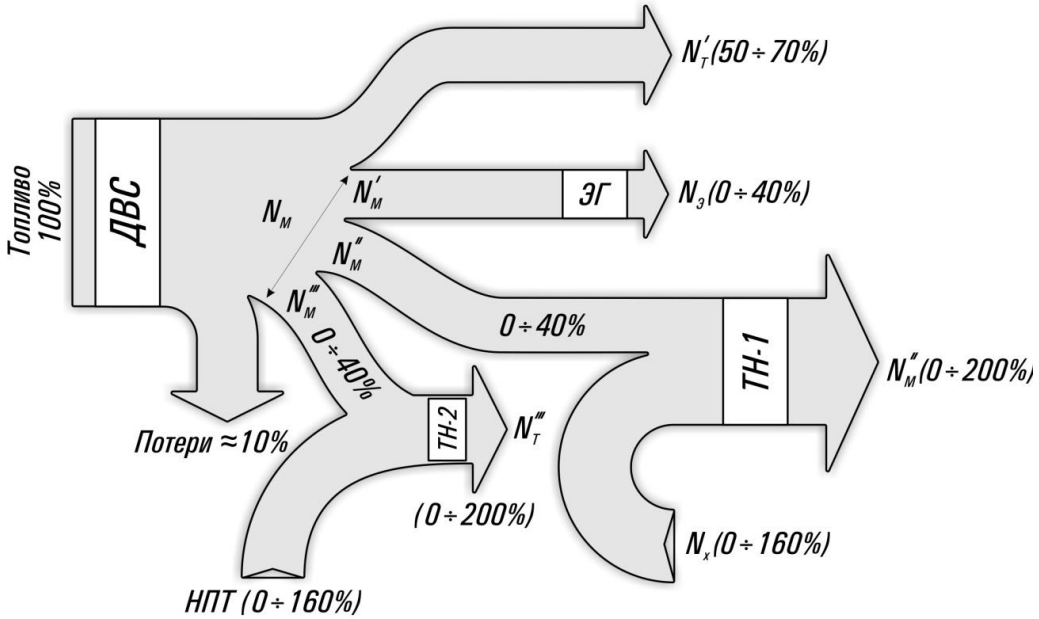


Рисунок 2 – Энергетическая диаграмма ТГУ

Физическое моделирование ТГУ

Одним из этапов разработки ТГУ для практического применения являлось создание экспериментальной установки.

Рисунок 3 – Экспериментальная тригенерационная установка с системой интеграции дополнительных энергоисточников на основе ВИЭ

Экспериментальная установка включает:

- Энергоблок (1), в состав которого входит дизельный двигатель, электрический генератор, два оппозитно расположенных фреоновых компрессора и система теплообменников;
- Сосуд (2), имитирующий источник низкопотенциального тепла и бак аккумулятор – (3) с системами автоматической стабилизации температуры теплоносителей;
- Информативно-вычислительную управляющую систему –(4);
- Схему коммутации электрической нагрузки, контроля количества и качества производимой электроэнергии – 5;
- Систему интеграции дополнительных энергоисточников на основе ВИЭ – 6 в составе инверторов, аккумуляторной станции и контроллеров заряда-разряда.

Климат в Казахстане резко континентальный с ярко выраженным чередованием в пределах природных поясов и зон. Для всей республики характерно большое колебание температур, как суточной, так и годовой. В равнинно-низкогорной части среднегодовые и среднемесячные температуры изменяются с севера на юг.

Для анализа предлагается условно разделить территорию республики на 5 температурных зон, в соответствии с количеством градусо-суток отопительного периода в регионе. Градусо-сутки – показатель, равный произведению разности температуры воздуха внутри отапливаемого помещения и средней температуры наружного воздуха за отопительный период на продолжительность отопительного периода, который определяется количеством суток со средней температурой ниже 8 ^{0}С (в соответсвии со СНиП РК 2.04-21-2004 [13]).

На рисунке 11 показаны 5 температурных зон Республики Казахстан (значком ! ! – отмечено расположение условных зданий для сравнительных расчетов).

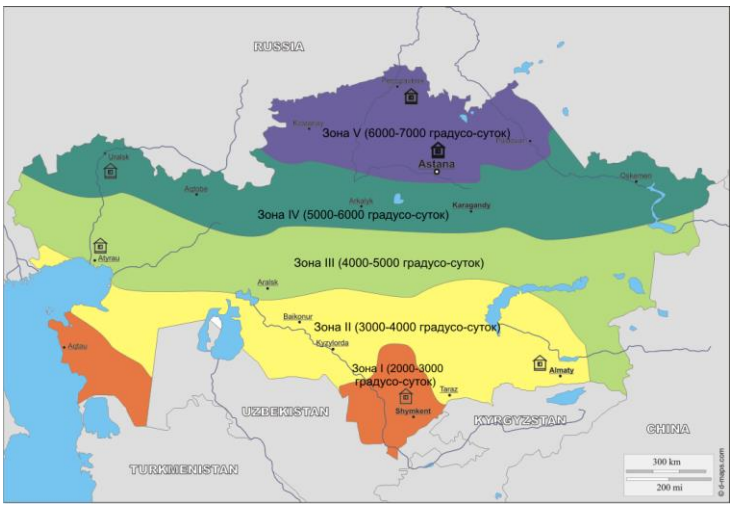


Рисунок 4 – Температурные зоны РК

На рисунке 5 проиллюстрирован годовой график средмесячных температур для выбраных температурных зон РК.

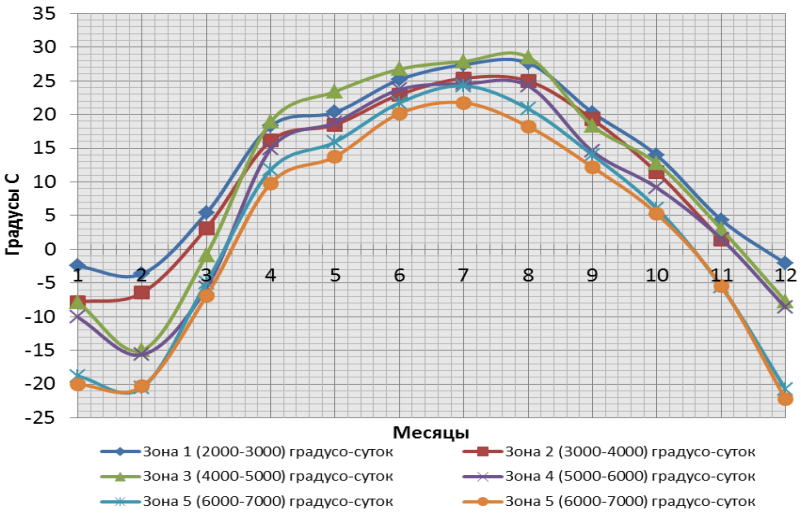


Рисунок 5 – Годовой график среднемесячных температур для температурных зон РК

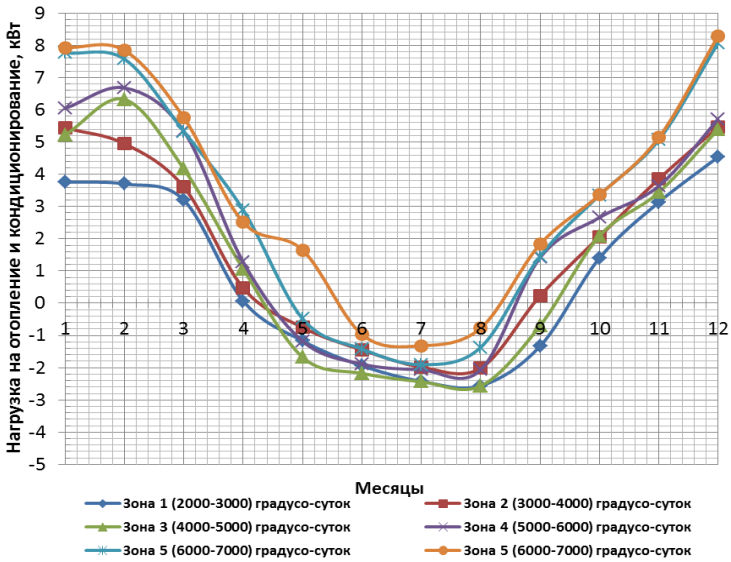


Рисунок 6 – Годовой график нагрузки на отопление и кондиционирование для 5 температурных зон РК

Для проведения сравнительных исследований энергоэффективности систем комплексного энергоснабжения (СКЭ) для жилых объектов, расположенных в различных температурных зонах Казахстана, было принято условное здание площадью 150 м^2, с базовым уровнем удельного расхода тепла на отопление, 135 кДж/(м^2·°С·сут). Потребление электрической энергии было принято для обеспечения “комфортного проживания”, что соответствует уровню 120 кВт·час на одного человека в месяц. В условном здании проживают 5 человек, максимальный расход энергии на ГВС принят из расчёта 230 кВт·час на человека в месяц. Проведены расчеты энергопотребления условного здания в 5 температурных зонах. В соответствии с рисунком 6, где проиллюстрирован рассчитанный годовой график нагрузки на отопление и кондиционирование условного здания в различных зонах.

Численные исследования энергоэффективности различных видов энергогенерации были проведены с помощью разработанной программы.

Анализ полученных данных показал, что эффективность использования тригенерационной установки по сравнению с CG и MG сопровождается снижением расхода топлива и эмиссий CO2 по сравнению с CG – в 2,5 раз и MG в 3,2 раза. На рисунке 7 представлены данные по расходу топлива для четырех режимов работы ТГУ в трех температурных зонах: первой, третьей и пятой.

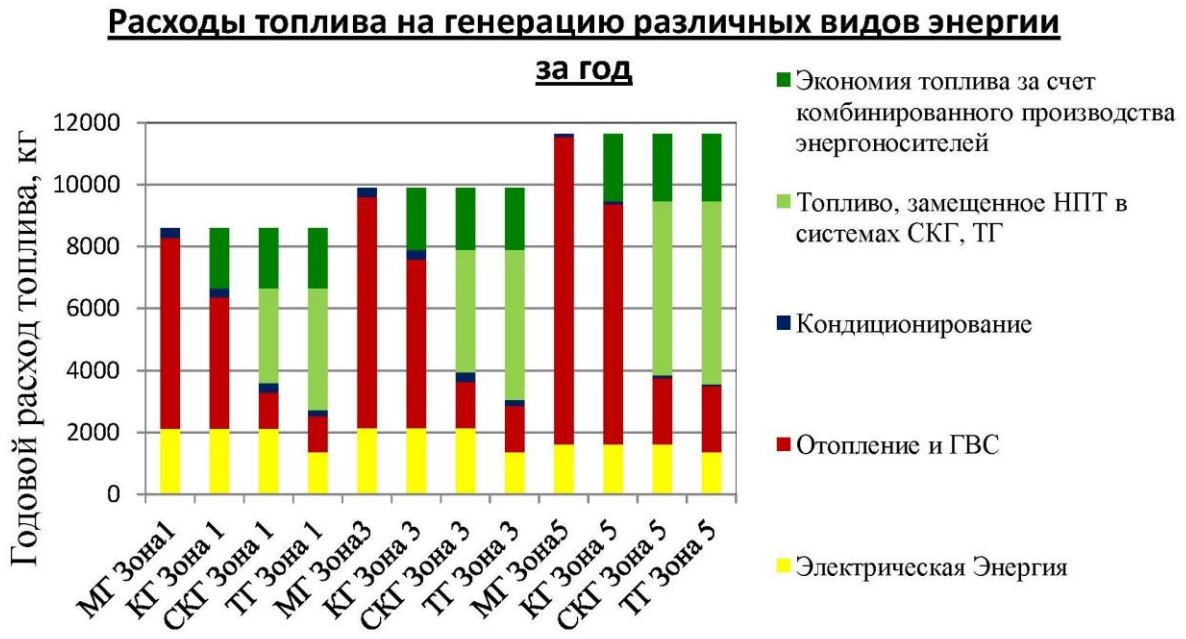


Рисунок 7 – Расходы топлива на генерацию различных видов энергии за год в трех зонах

Применение когенерационных установок для комплексного энергосбережения жилых зданий при значительных сезонных колебаниях температуры не дает ожидаемого экономического эффекта. Сокращение годового потребления топлива не превышает 22% «теплых» температурных зон Казахстана и 19% для «холодных».

Применение ТГУ в качестве основного энергоисточника в системах автономного энергосбережения позволяет в 3 и более раз снизить потребление ископаемого топлива, по сравнению с моногенерацией, для всех исследованных температурных зон Казахстана и в соответствующих пропорциях будут снижены выбросы парниковых газов.

При этом экономия топлива достигается в результате комбинированной генерации и вовлечения низкопотенциальной теплоты земной коры при генерации тепла и снижения потерь энергии благодаря прямому приводу тепловых насосов при генерации холода для кондиционирования. Можно предположить возможность дополнительного энергосбережения за счет применения естественного кондиционирования с одновременной сезонной регенерацией геоколлектора.

Включение в систему энергоснабжения на базе ТГУ дополнительных генерационных источников на основе ВИЭ (например, ВЭУ, ФЭС и СК) очевидно, позволит получать дополнительную экономию топлива. При этом наличие ТГУ в состоянии постоянной готовности к работе исключит риски дефицита тепловой и электрической энергии обусловленных цикличностью и неопределенностью генерации ВИЭ и температурными условиями. При этом использование ВИЭ не отразится на надежности и устойчивости энергоснабжения. Выбор состава и мощности

генерирующего оборудования на основе ВИЭ, дополняющих ТГУ, может осуществятся только на основании экономического анализа, учитывающего стоимость оборудования, ресурсов ВИЭ в районе предполагаемого применения и стоимость замещенного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Santo D.B.. Energy and exergy efficiency of a building internal combustion engine trigeneration system under two different operational strategies// Energy and Buildings.-2012.- № 53.-P. 28–38.

2. Chinese D., Meneghetti A., Nardin G., Simeoni P. From hospital do municipal cogeneration systems: an Italian case study// International Journal of Energy Research. – 2007. – №31. – P. 829–848.

3. Kendlbacher C., Mueller P., Bernhaupt M., Rehbichler G.. Bergen Large Engine Injection Systems for Future.: CIMAC. – 2010. Fullpaper #50.

4. Geothermal heat pump.– 2013, [Электронный ресурс]. http://teplovoy-nasos.baltcomfort.ru/informatsiya/geotermalnyj-teplovoj-nasos.html

5. Efficiency of heat pump. [Электронный ресурс]. URL: http://heatpumps.atmosfera.ua/ru/effektivnost-teplovyx-nasosov/.

6. Viessmann. Stand-alone homes. Vitocal 300-G heat pump. [Электронный ресурс]. URL: http://www.viessmann.ru/ru/ein_zweifamilienhaus/produkte/Heat_pumps2/Vitocal_300_BW_WW.html.

7. G.P. Vasilyev., N.V. Shilkin. The usage of the earth low-grade heating in heat pump systems. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах. [Электронный ресурс]. URL: http://www.insolar.ru/lib_15.php.

8. Rybach L. Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and worldwide; sustainability aspects of GHPs. //International course of geothermal heat pumps, 2002.

9. Coronas A., Murthy S., Bruno J. Editorial for the special issue of applied thermal engineering on polygeneration//Applied Thermal Engineering.-2013.-P. 1397–1398.

10. National Renewable Energy Laboratory. Barley D., Deru M., Pless S., and Torcellini P., Procedure for Measuring and Reporting Commercial Building Energy Performance. Technical Report NREL/TP-550-38601. October, 2005.

11. Jose ´ L. Bernal-Agustı´n, Rodolfo Dufo-Lopez. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems// Renewable and Sustainable Energy Reviews.-2009. – P. 2111-2118

12. National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan [Электронный ресурс]. URL: http://www.kazhydromet.kz .

13. CNR of RK 2.04-21-2004.

УДК 577.152.54

МИКРОИНГРЕДИЕНТЫ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Шарова Н.Ю., д.т.н., г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
E-mail: natalya_sharova1@mail.ru

Одной из актуальных задач биотехнологии является создание микроингредиентов, востребованных в пищевом производстве. Среди них значительную долю занимают продукты микробиологического синтеза. К их числу относятся широко используемые в пищевой промышленности ферменты – биокатализаторы гидролиза углеводов и их ингибиторы.

В современном мире наблюдается тенденция к увеличению объемов производства пищевых продуктов функционального назначения. В Европе реализация населению таких продуктов превышает 20 % от всей реализуемой пищевой продукции. Лидерами на европейском рынке по объемам их производства являются Германия, Великобритания и Франция. В США наиболее распространены функционально направленные напитки, зерновые, хлебобулочные изделия; в Европе – молочные и консервированные фруктово-молочные продукты; в России – каши, молочные пробиотические и хлебобулочные изделия [1-3]. Потребление функциональных пищевых продуктов не является лечебным приемом, но помогает предупредить некоторые заболевания [4]. В России введён в действие ГОСТ Р 52349-2005, в котором установлено определение понятия «физиологически функциональные пищевые ингредиенты», с использованием которых получают функциональные пищевые продукты [5]. К ним относят биологически активные, ценные и безопасные для здоровья ингредиенты, с известными физико-химическими характеристиками, для которых выявлены и научно обоснованы полезные для сохранения и улучшения здоровья свойства, установлена суточная физиологическая потребность. Согласно ГОСТ Р 54059-2010, функциональные пищевые ингредиенты классифицируют в зависимости

от их влияния на процессы в организме человека: метаболизм субстратов, антиоксидантный эффект, поддержание деятельности сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта, зубной и костной ткани, иммунной системы [6]. В настоящее время в пищевой индустрии проводятся исследования по расширению спектра «здорового» питания профилактического и диетического направления с пониженным содержанием компонентов, создающих риск для здоровья. Так, актуальным до сих пор является создание новых видов продукции для категории потребителей, которые вынуждены тщательно подбирать компонентный состав пищевых продуктов и ограничивать потребление углеводов. Эти люди страдают сахарным диабетом, избыточным весом, панкреатитом, мальдигестией, мальабсорбцией и др. Перспективными в данном направлении являются специализированные продукты, полученные с использованием пищевых добавок на основе ингибиторов гликозидаз [7]. Сахарный диабет может являться причиной воспаления поджелудочной железы (панкреатит). При таком недуге назначают, в частности, заместительную терапию комбинацией компонентов с ферментативной активностью. Используются ферменты с различной специфичностью действия на белки, жиры и углеводы. Нарушение обменных процессов в человеческом организме, связанное с этими субстратами, часто приводит к нежелательным симптомам в переваривании пищи (мальдигестия) и всасывании пищевых веществ в кишечнике (мальабсорбция), язве и многим другим пищеварительным заболеваниям. Значительным спросом пользуются гликозидазы, в наибольшей мере - α-амилаза (КФ 3.2.1.1; 1,4-α-D-глюкан глюкангидролаза), глюкоамилаза (КФ 3.2.1.3; 1,4-α-D-гликан глюкогидролаза), инвертаза (КФ 3.2.1.26; β-фруктофуранозидаза, сахараза). Они участвуют в переваривании углеводов, поступающих в организм с пищей. Амилазы катализируют гидролиз крахмала, гликогена и родственных им полисахаридов до олигосахаридов и глюкозы; инвертаза – биокатализатор гидролиза β-D-фруктофуранозидов, в том числе сахарозы, до D-фруктозы и глюкозы. Нарушение их секреции или снижение ферментативной активности в здоровом организме может привести к замедлению переваривания углеводов, как следствие спровоцировать брожение и повысить риск интоксикации.

Основные промышленные продуценты амилаз – это аспергиллы. Для получения инвертазы используют штаммы дрожжей, пенициллов, аспергиллов. Основные продуценты ингибиторов гликозидаз – это стрептомицеты. Распространённым углеводным субстратом для биосинтеза амилаз является деструктурированный крахмал, для инвертазы – сахароза, содержащаяся в сахаре кристаллическом, сахаре-сырце.

В нашем институте (ФГБНУ ВНИИПД) разработан ряд «совмещённых» технологий, позволяющих получать амилазы в качестве дополнительных метаболитов при производстве лимонной кислоты в результате ферментации гидролизатов крахмала штаммами Aspergillus niger. На основе выделенных препаратов создана комплексная пищевая добавка Глюкоамилонигрин, успешно прошедшая производственные испытания в хлебопечении и пивоварении. Штаммы аспергиллов-кислотообразователей обладают способностью синтезировать и ингибиторы амилаз [8]. С использованием крахмалсодержащего сырья и штаммов рода Streptomyces в ФГБНУ ВНИИПД разработаны технологии ингибиторов гликозидаз и рецептуры комплексных пищевых добавок, применение которых в хлебопечении позволяет получать продукцию, по качеству соответствующую действующей нормативной документации, и имеющую в перспективе статус функциональной [9].

В данной работе исследована способность штаммов Aspergillus niger – продуцентов лимонной кислоты синтезировать инвертазу.

Объектом исследования являлись штаммы-кислотообразователи микромицета Aspergillus niger Л-4, Л-7 и В-3, селекционированные в институте соответственно для ферментации мелассы, сахара кристаллического (сахарозоминеральная среда) и концентрированного сока сорго [10 − 12].

Для культивирования штаммов в качестве углеводных субстратов испытаны сахар кристаллический, меласса свекловичная, лактоза, глюкоза, фруктоза, мальтоза, сахароза, источников азота – автолизат мицелиальной массы гриба-кислотообразователя Aspergillus niger, нитрат аммония, мочевина.

Состав среды, г/дм^3: углеводный субстрат – 50 (на стадии получения посевного мицелия) и 150 (на стадии ферментации); источник азота – 2,5; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,25; KH_2PO_4 – 0,16; вода до 1 дм^3; pH 6,5 [13]. Температура на стадии получения посевного мицелия (35 ± 1) °С, на стадии ферментации (32 ± 1) °С; скорость перемешивания – 200 об/мин; возраст посевного мицелия составил 48 ч, количество − 10 % от исходного объёма питательной среды.

Инвертазную активность оценивали колориметрическим методом [14]. Количество кислоты определяли титриметрическим методом [15].

Обработку экспериментальных данных проводили с привлечением методов математической статистики и программ Excel XP.

Основным источником углерода для биосинтеза ферментов являются углеводы. Исследуемые штаммы-продуценты лимонной кислоты Aspergillus niger Л-4, Л-7 и В-3 обладают способностью активно ферментировать как индивидуальные углеводы, такие как сахароза, глюкоза, так и многокомпонентный субстрат – мелассу, что свидетельствует о вариабельности их ферментной системы и возможности вести направленный биосинтез метаболитов путем изменения условий и режимов культивирования. Результаты исследований показали, что исследуемые штаммы при ферментации раствора сахара кристаллического, преимущественно содержащего сахарозу, синтезируют инвертазу со скоростью, на два порядка превышающую таковую на мелассной среде (табл. 1).

Таблица 1 – Скорость синтеза инвертазы в процессе культивирования штаммов-кислотообразователей Aspergillus niger на углеводных субстратах

Штамм	Скорость синтеза фермента, ед/(г · ч)*		
	24 ч	36 ч	72 ч
Субстрат – сахар кристаллический			
Л-4	9,672 ± 0,114	12,559 ± 0,117	25,254 ± 0,271
Л-7	4,833 ± 0,062	18,339 ± 0,221	20,833 ± 0,311
В-3	43,756 ± 0,162	4,1675 ± 0,163	-
Субстрат – меласса свекловичная			
Л-4	0,033 ± 0,005	0,225 ± 0,002	0,714 ± 0,071
Л-7	0,083 ± 0,002	0,431 ± 0,001	0,177 ± 0,011
В-3	0,434 ± 0,041	0,034 ± 0,001	-
* Скорость определяли в пересчёте на 1 г мицелия с влажностью 10%			

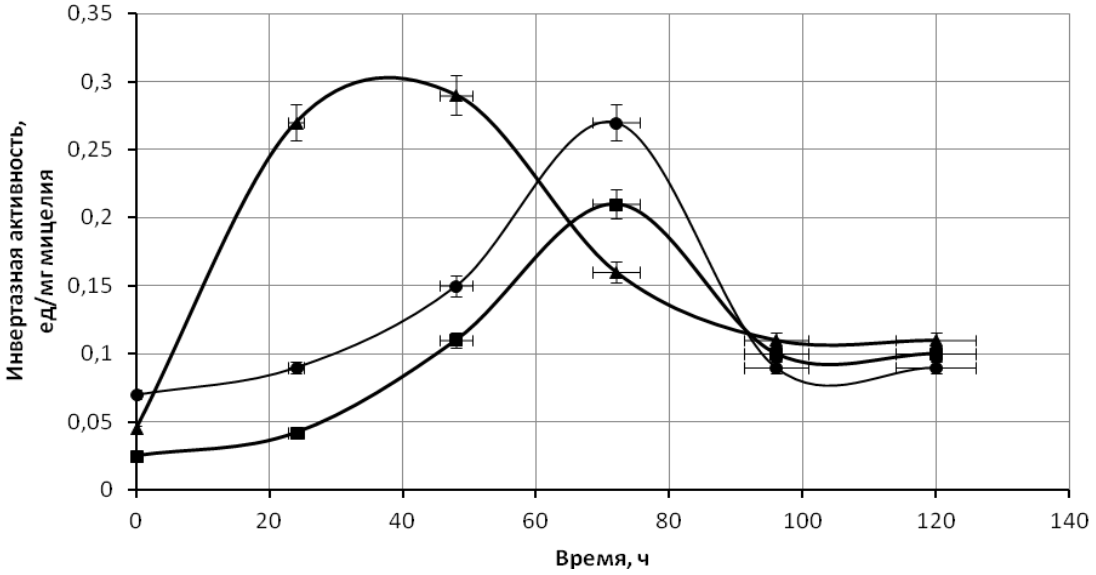
Скорость синтеза инвертазы исследуемыми штаммами Aspergillus niger на среде, содержащей кристаллический сахар, сопоставима со скоростью синтеза фермента изученной культуры Aspergillus niger Аа-20 (34,32 ед/(г мицелия)) на глюкозосодержащей среде (1,25%) [16]. По сравнению с представителями сахаромицетов, распространёнными продуцентами инвертазы, штаммы-кислотообразователи Aspergillus niger Л-4, Л-7 и В-3 синтезируют фермент интенсивнее. Так, селекционированная культура Sacchromyces cerevisiae продуцирует инвертазу со скоростью (0,091 ± 0,02) ед/(г мицелия ч) [17]. Выделены природные культуры Saccharomyces cerevisiae, которые синтезируют фермент со скоростью в диапазоне 1,263-2,515 ед/(г мицелия ч) [18]. Скорость накопления инвертазы в культуральной жидкости также была выше по сравнению со скоростью, полученной при ферментации мелассной среды, на один порядок (табл. 2).

Таблица 2 – Скорость накопления инвертазы в культуральной жидкости в процессе ферментации углеводных субстратов

Штамм	Скорость накопления фермента, ед/(дм^3 ч)		
	24 ч	36 ч	72 ч
Субстрат - сахар кристаллический			
Л-4	0,634 ± 0,011	1,322 ± 0,101	6,548 ± 0,123
Л-7	1,323 ± 0,091	1,862 ± 0,122	4,227 ± 0,142
В-3	13,253 ± 0,542	1,121 ± 0,111	1,134 ± 0,112
Субстрат – меласса свекловичная			
Л-4	0,022 ± 0,001	0,621 ± 0,025	0,936 ± 0,026
Л-7	0,521 ± 0,011	0,816 ± 0,012	0,921 ± 0,045
В-3	7,233 ± 0,112	0,923 ± 0,023	0,238 ± 0,022

Продуктивный биосинтез инвертазы при активном кислотообразовании выявлен у мицелия штаммов В-3 и Л-4. Наибольший уровень активности в мицелии наблюдался на период 24-48 ч – для штамма В-3, на 72 ч – для штамма Л-4 (рис.1). Пул инвертазной активности в нативном растворе приходился на период накопления биомассы и активизации кислотообразования (24-72 ч). Активность экстрацеллюлярной инвертазы (0,6-0,9 ед/см^3) находилась на уровне активности для изученных ацидофильных культур Aspergillus [19, 20]. Известно, что индуцируемый процесс биосинтеза фермента продолжается с увеличенной скоростью, пока не удаляется индуктор, затем скорость возвращается к

начальному уровню. Например, для штамма Aspergillus oryzae IPT301 экстрацеллюлярная инвертазная активность в конце цикла ферментации (72 ч) в зависимости от углеводного субстрата находилась в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $9 \cdot 10^{-3}$ ед/см^3 [21]. Результаты экспериментов показали, что к 120 ч процесса ферментации в среде сахароза отсутствует и активность инвертазы снижается до (0,12 ± 0,01) ед/мг в мицелии (влажность 80%), до (0,092 ± 0,003) ед/см^3 – в нативном растворе. Эффективными индукторами синтеза инвертазы для изученных культур аспергиллов являются простые сахара, которые свободно проникают через клеточные мембраны.



▲- штамм В-3; ● – штамм Л-4; ■ – штамм Л-7
Инвертазная активность определена в мицелии с влажностью 80%

Рисунок 1 – Динамика активности интрацеллюлярной инвертазы при культивировании продуцентов лимонной кислоты – штаммов Aspergillus niger на сахарозоминеральной среде, содержащей кристаллический сахар

В связи с указанным исследован синтез инвертазы штаммами Aspergillus niger В-3 и Л-4 при ферментации лактозы, мальтозы, фруктозы, глюкозы, сахарозы. Индуцированный синтез инвертазы более выражен при ферментации фруктозы и глюкозы (табл. 3).

Таблица 3 – Инвертазная активность при ферментации углеводных субстратов штаммами-кислотообразователями Aspergillus niger

Активность инвертазы	Наименование субстрата				
	Лактоза	Мальтоза	Фруктоза	Глюкоза	Сахароза
· Максимальная: – экстра-целлюлярная, ед/см^3	0,922± 0,004	0,862± 0,006	1,685± 0,006	0,779± 0,002	0,998± 0,008
– интрацеллюлярная*, ед/ мг	0,969± 0,012	0,611± 0,012	7,135± 0,015	3,642± 0,014	0,581± 0,015
· В конце процесса (5 сут): – экстрацеллюлярная, ед/см^3	0,092± 0,006	0,048± 0,002	0,029± 0,001	0,049± 0,001	0,175± 0,006
– интрацеллюлярная,* - ед/ мг	0,186± 0,005	0,294± 0,003	2,257± 0,004	1,747± 0,008	0,158± 0,005
* Остаточная влажность 10 %					

Аспергиллы в основном секретируют инвертазу в нативный раствор [20, 22, 23], но при культивировании на глюкозосодержащей среде для некоторых культур характерно накопление фермента в клетках [18, 24]. Для штаммов Л-4 и В-3 при ферментации глюкозы транспорт инвертазы из цитозоля в нативный раствор, по-видимому, замедлен. Несмотря на наибольший уровень инвертазной

активности в нативном растворе при ферментации фруктозы, количество синтезируемой кислоты было на (10 ± 1) % больше при культивировании штаммов на среде, содержащей сахарозу или кристаллический сахар (соответственно (6,3 ± 0,1) г/колба и (5,6 ± 0,1) г/колба). Поэтому для сохранения высокого уровня конверсии сахаров в основной метаболит − лимонную кислоту, (87 ± 1) %, предпочтительным углеводным источником для получения двух целевых продуктов выбран сахарозосодержащий субстрат – кристаллический сахар. Для поддержания инвертазной активности на постоянном уровне до конца процесса ферментации необходим подбор условий и режимов ферментации.

На биосинтез ферментов существенное влияние оказывает источник азота и отношение количества углерода и азота в питательной среде (C : N). Поддержание необходимого уровня азота в составе сред на основе индивидуальных углеводов обеспечивается солями аммония, в частности, нитратами или сульфатами. Преимуществом использования соли аммония является снижение уровня pH в процессе его потребления продуцентом. По технологии лимонной кислоты, использующей кристаллический сахар в качестве углеводного субстрата, в состав среды входит нитрат аммония в массовой концентрации 2,5 г/дм^3 [13]. По «совмещённой» технологии лимонной кислоты и амилаз активность ферментов существенно повышается при частичной замене минерального азота на органический [25]. В данной работе изучали влияние на биосинтез инвертазы нитрата аммония, нитрата калия, нитрата натрия и мочевины. Результаты исследований показали, что при использовании нитрата аммония в концентрации, обеспечивающей (C : N) не более (25,5 ± 0,5), развитие и рост мицелия гриба Aspergillus niger замедлены, о чем свидетельствует невысокий уровень биомассы по сравнению с условиями, оптимальными для биосинтеза лимонной кислоты, (C : N) равен (68,5 ± 0,5) (табл. 4). Повышенное количество углерода в питательной среде ((C : N) равно (72,5 ± 2,5)) способствовало увеличению биомассы, которая превышала контроль (нитрат аммония, (C : N) равен (68,5 ± 0,5)) в 1,3-1,7 раза, и приводило к снижению его кислотообразующей способности. Нитраты калия и натрия отрицательно влияли на ацидогенез, инвертазная активность снижалась в 1,4-2 раза по сравнению с контролем. Повышение продуктивности биосинтеза инвертазы было существенно выражено при замене в питательной среде минерального источника азота (нитрат аммония), традиционно используемого для получения лимонной кислоты, на органический, а именно мочевину. Наблюдалось увеличение биомассы и повышение активности инвертазы в 1,1-1,4 раза; количество кислоты, синтезируемой штаммами Л-4 и В-3, находилась на уровне контроля (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние источников азота на биосинтез инвертазы и органических кислот штаммами-кислотообразователями Aspergillus niger при ферментации сахарозоминеральной среды, содержащей кристаллический сахар

Источник азота	C : N	Показатели в конце процесса ферментации (5 сут)			
		Активность экстрацеллюлярной инвертазы		Количество кислоты, г/колба	Биомасса *, г/колба
		ед/см^3	суммарная, ед		
NH_4NO_3	25,5 ± 0,5	0,0035 ± 0,0001	0,135 ± 0,001	3, 2 ± 0,1	0,17 ± 0,01
	68,5 ± 0,5 Контроль	0,098 ± 0,006	4,41 ± 0,01	6,2 ± 0,1	0,51 ± 0,05
	72,5 ± 2,5	0,048 ± 0,002	2,42 ± 0,01	4,2 ±0,1	0,74 ± 0,04
$NaNO_3$	68,5 ± 0,5	0,054 ± 0,002	2,78 ± 0,01	3,2 ± 0,1	0,35 ± 0,03
KNO_3	68,5 ± 0,5	0,065 ± 0,003	3,22 ± 0,01	2,8 ± 0,1	0,33 ± 0,03
CH_4N_2O	68,5 ± 0,5	0,121 ± 0,005	4,96 ± 0,01	6,2 ± 0,1	0,64 ± 0,04
* Остаточная влажность 10 %					

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволят установить критерии оценки направленности процесса биосинтеза и пути его регуляции на ферментативном уровне с учётом биосинтетических свойств штаммов-продуцентов лимонной кислоты для повышения продуктивности по инвертазе.

Поскольку условия биосинтеза лимонной кислоты и инвертазы микромицетом Aspergillus niger во многом совпадают, то при выборе и оптимизации определенных факторов, влияющих на направленность биотехнологического процесса, возможно создание «совмещённых» технологий полифункциональных ингредиентов и комплексных пищевых добавок на их основе с выходами и активностями инвертаз, сравнимыми с показателями культивирования специально селекционированных штаммов.

Введение инвертазы в составы биологически активных добавок позволит расширить ассортимент продукции, действие которой направлено на профилактику и предотвращение нарушений функций желудочно-кишечного тракта.

Применение микроингредиентов функционального назначения в пищевых производствах имеет социальный эффект. Разработка технологий микроингредиентов микробного происхождения для создания пищевых продуктов функционального назначения требует проведения исследований по установлению режимов культивирования продуцентов, которые способствуют интенсификации биосинтеза инвертазы, повышению ферментативной активности и обеспечивают уровень «конверсии сахаров» в лимонную кислоту, соответствующий стабильному протеканию биотехнологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балаболкин, М.И. Роль инсулиновой терапии в компенсации сахарного диабета// М.И. Балаболкин, Н.А. Петунина, М.Э. Тельнова, Е.М. Клебанова, К.В. Антонова //РМЖ. – 2072. http://www.rmj.ru/articles_5713.htm.

2. Радионова, А.В. Анализ состояния и перспектив развития российского рынка функциональных напитков// А.В. Радионова //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 1. – С. 1-10. http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/8776.pdf.

3. Скобелев, В. Плюс витаминизация всей страны. Обзор российского рынка функциональных ингредиентов // В. Скобелев / Russian food & drinks market magazine. – 2013. – №3. – С. 1-2. http://www.foodmarket.spb.ru.

4. Roberfroid, M.B. Global view on functional foods: European perspectives // M.B. Roberfroid /British J. Nutrition. – 2002. – Vol. 88. – №. 2. – P. 133-138.

5. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. – Введ. 2006-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 17 с.

6. ГОСТ Р 54059-2010. Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования. – Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартинформ, 2011. – 12 с.

7. Naoki Asano Glycosidase inhibitors: update and perspectives on practical use. Review. // Naoki Asano / Glycobiology. – 2003. – vol. 13. – no. 10. – P. 93-104.

8. Шарова, Н.Ю. Ингибитор гликозидаз – ингредиент для создания функциональных хлебобулочных изделий антидиабетического направления // Н.Ю. Шарова, Т.А. Никифорова, О.А. Ходкевич, Л.И. Кузнецова, Е.С. Иванова// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 6. – С. 49-51.

9. Шарова, Н.Ю. Ферментный препарат кислотостабильных амилаз – потенциальный улучшитель при приготовлении хлебобулочных изделий // Н.Ю. Шарова, Т.А. Никифорова, Л.И. Кузнецова, Н.Д. Синявская// Хлебопечение России. – 2003. – № 2. – С. 26-28.

10. Пат. 975799 СССР, МКИ С 12 N 15/00, С 12 Р 7/48. Штамм гриба Aspergillus niger Л-4 – продуцент лимонной кислоты/ Ермакова В.П., Финько В.М., Василинец И.М., Щербакова Е.Я., Шушкевич Т.И.; заявитель и патентообладатель: Ленинградский межотраслевой научно-исследовательский ин-т пищевой промышленности − № 2955606/28-23; заявл. 13.06.80; опубл. 25.11.82. Бюл. № 43.

11. Пат. 1811697 СССР, МКИ^5 С 12 1/14, С 12 Р 7/48. Штамм гриба Aspergillus niger ВКПМ F-501 – продуцент лимонной кислоты / Голубцова В.М., Ермакова В.П., Минц Е.С., Никифорова Т.А., Галкин А.В., Финько В.М., Жданова В.Н.; заявитель и патентообладатель : Санкт-Петербургский научно-исследовательский ин-т пищевых ароматизаторов, кислот и красителей; заявл. 05.03.91; опубл. 23.04.93.

12. Пат. 2088658 Российская Федерация, МКИ^6 С 12 1/14, С 12 Р 7/48 (С 12 1/14, С 12 1/35). Штамм гриба Aspergillus niger – продуцент лимонной кислоты/ Красикова Н.В., Никифорова Т.А., Галкин А.В., Финько В.М.; заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский научно-исследовательский ин-т пищевых ароматизаторов, кислот и красителей; заявл. 27.09.95; опубл. 27.08.97.

14. Рухлядева, А.П. Методы определения активности гидролитических ферментов./ А.П. Рухлядева, Г.В. Полыгалина. − М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. − 288 с.

15. Муратова, Е.И. Биотехнология органических кислот и белковых препаратов: учебное пособие./ Е.И. Муратова, О.В. Зюзина, О.Б. Шуняева – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. − 80 с.

16. Aranda, C. Fungal invertase expression in solid-state fermentation// C. Aranda, O. Robledo, J. C. Loera, R. Contreras-Esquivel [et al.]. / Food Technol. Biotechnol. − 2006. − V. 44. − № 2. − P. 229-233.

17. Haq, I. Characterization of a Saccharomyces cerevisiae mutant with enhanced production of β-D-fructofuranosidase// I. Haq, S. Ali, A. Aslam M. A., Qadeer Biores / Technol. – 2008. – V. 99. – №1. – P. 7-12.

18. Haq I. Invertase production from a hyperproducing Saccharomyces cerevisiae strain Isolated from dates// I. Haq, S. Ali / Pak. J. Bot. – 2005. – V. 37. – № 3. – P. 749-759.

19. Romero-Gómez, S. J. Invertase production by Aspergillus niger in submerged and solidstate fermentation// S. J. Romero-Gómez, C. Augur, G. Viniegra-González / Biotechnology Letter. – 2000. – V. 22. – P.1255-1258.

20. Nguyen, Q. D., Rezessy-Szabo J. M., Bhat M. K., Hoschke A. Purification and some properties of β-fructofuranosidase from Aspergillus niger IMI303386 // Q. D. Nguyen, J. M. Rezessy-Szabo, M. K. Bhat, A. Hoschke / Proc. Biochem. – 2005. − V. 40. − P. 2461-2466.

21. Ottoni, C.A. Media optimization for β-fructofuranosidase production by Aspergillus oryzae//C. A. Ottoni, R. Cuervo-Fernandez, R. M. Piccoli, R. Moreira [et al.]. / Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2012. – V. 29. – № 1. – P. 49-59.

22. Habib Ullah Nadeem. Purification, kinetic and thermodynamic characterization of native and chemically modified invertases from Aspergillus niger/ Habib Ullah Nadeem. – Islamabad, 2011. − 176 p.

23. Nuero, O.M. Enzymes for animal feeding from Penicillium chrysogenum mycelia wastes from penicillum manufacture // O.M. Nuero, F. Reyes / Lett Appl. Microbiol. – 2002. – V. 34. – P. 413-416.

24. Kaur, N. Production, optimization and characterization of extracellular invertase by actinomycete strain// N. Kaur, A.D. Sharma / J. Sci. Ind. Res. – 2005. – V. 64. – P. 515-519.

25. Шарова, Н.Ю. Разработка научных основ новых технологий пищевых добавок и ингредиентов с использованием крахмалсодержащего сырья: автореф. дис. … докт. техн. наук: защищена 13.11.2013/ Н.Ю. Шарова. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. – 32 с.

Авторский алфавитный указатель

Апсеметов А.А. 144
Альтман Э.И. 14
Аргымбаева А.Е. 104
Бараненко А.В. 126
Байболова Л.К. 45
Белецкий Э.В. 9
Бошкова И.Л. 32, 81
Башмаков Д.А. 23
Барыльник К.Г. 19
Bushmanov V. 61
Butovskyi I. 61
Benyash S.Y. 78
Булат Л.П. 25
Баженова И.А. 38
Валиев Н.А. 65
Волчок В.А. 36
Волгушева Н.В. 32
Георгиеш Е.В. 42
Грановский А.С. 126
Гожелов Д.П. 96
Геллер В.З. 73
Дементьева Т.Ю. 32
Данько В.П. 50
Джингилбаев С.С. 45
Дзино А.А. 56
Данилов Н.П. 104
Дайтерс У.К. 81
Ережеп Д.Е. 25, 133
Железный В.П. 120
Zhikhareva N. 61
Зацерклянный М.М. 58
Зацерклянный А.М. 58
Исрафилов И.Х. 23
Ибрагимова М.В. 148
Коротков В.А. 90
Ким И.А. 139
Красникова Л.В. 114
Каирбаева А.Е. 45
Краснопольский А.Н. 118
Круглов А.А. 144
Кузнецова Л.И. 19
Kogut V. 61
Кондратьев В.Г. 65
Кумызбаева С. 148
Khmelniuk M. 61
Лукьянов Н.Н. 120
Лукьянова А.С. 81
Лаврентьева Н.С. 19
Лапардин Н.И. 36, 73
Мустамбаев Н.К. 141
Медведков Е.Б. 45
Малинина О.С. 56
Mkrtumova A.A. 78
Мороз С.А. 120
Мольский А.С. 85
Новотельнова А.В. 25, 133
Носков А.Н. 108
Озолин Н.Е. 118
Потапов В.А. 85, 100
Притула В.П. 111
Потапов М.Д. 111
Петренко Е.В. 9
Протопопов И.М. 25
Редунов Г.М. 96
Рыбкина Е.Д. 38
Стояк В.В. 148
Семенюк Д.П. 100
Савкина О.А. 19, 93
Самигуллин А.Д. 23
Столевич Т.Б. 58
Скобелева И.И. 114
Солодкая А.В. 111
Стешина Ю.Г. 108
Сабитова Ж.М. 93
Тукмакова А.С. 25, 133
Тазитдинов Р.Р. 144
Титловв А.С. 96, 118
Татаренко Ю.В. 90
Хинтицкая Т.Я. 139
Хлиева О.Я. 120
Цветков О.Б. 133
Цой А.П. 126, 139, 141, 144
Цой Д.А. 141
Чикида Н.Н. 19
Шлейкин А.Г. 104
Шарова Н.Ю. 155
Щока И.М. 139
Эйхе А. С. 141
Янчева М.А. 85

Технический редактор Тусупова Ж.М.

Редактор Кутнякова Е.Ю.

Компьютерная верстка Дуйсенгалиева А.Д.

За стиль и орфографию авторов редакция ответственности не несет

Сдано в набор 22.02.16. Подписано в печать 25.02.16.
Формат 60x84 1/18. Бумага офсетная. Печать RISO.
Объем 9,4 у.п.л. Тираж 50 экз. Заказ № 13

Отпечатано в издательском отделе АТУ
050012, г. Алматы, ул. Толе би, 100