

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ВИНА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Балануцэ А.П.,(Технический Университет Молдовы) **Шит М., Журавлев А.А.,
Шит Б.М., Тимченко Д.В.** (Институт энергетике АН Молдовы),
Бурдо О.Г., Безбах И.В. (Одесская Национальная Академия пищевых технологий)

Аннотация. Предложены технологические решения по использованию теплонасосных установок и тепловых труб в виноделии и приведен расчет эффективности от применения теплонасосных установок.

Ключевые слова: тепловые насосы, тепловые трубы, брожение, обработка вин холодом, энергетическая эффективность.

MAJORAREA EFICIENȚEI ENERGETICE A PROCESELOR TEHNOLOGICE DE PRODUCERE A VINULUI PRIN UTILIZAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ ȘI TUBURILOR DE CĂLDURĂ

Balanuța A.,(Universitatea Tehnică a Moldovei), **Șit M., Juravliov A., Șit B., Tîmcenco D.** (Institutul de Energetică al AȘM), **Burdo O., Bezbah I.** (Academia Națională a Tehnologiilor Alimentare din Odesa)

Rezumat. Sunt propuse soluțiile tehnologice pentru utilizarea instalațiilor cu pompe de căldură și a tuburilor de căldură în vinificație și este prezentat calculul eficienței economice obținute datorită utilizării lor.

Cuvinte-cheie: pompe de căldură, tuburile de căldură, fermentare, prelucrare a vinurilor cu frig, eficiența energetică.

ENERGY EFFICIENCY DECREASE OF WINE PRODUCTION TECHNOLOGICAL PROCESSES DUE TO USE OF HEAT PUMPS AND HEAT PIPES

Balanuta A., (Technical University of Moldova) **Sit M., Juravliov A., Sit B., Tîmcenco D.** (Institute of Power Engineering of the ASM), **Burdo O., Bezbah V.** (Odessa National Academy of Food Technologies)

Abstract. Technological solutions for the use of heat pumps and heat pipes in wine-making are presented. The economic efficiency calculus of their use is shown as well.

Key words: heat pump, heat pipe, energy, efficiency, wine-making, fermentation.

1. Введение.

В настоящее время экономики Республики Молдова и Украины сталкиваются с одинаковыми проблемами. За годы независимости страны из энергорасточительных, но энергообеспеченных превратились в энергодефицитные, но остались энергорасточительными. Особенно обострились эти проблемы в последние годы под влиянием глобализации энергообеспечения, общего экономического кризиса. Общая история, подобная экономическая ситуация, похожие климатические условия, традиции и соседство, предполагают, что похожими должны быть и принципы, политика и стратегия выхода из энергетического кризиса. В условиях острого энергетического кризиса следует обратить особое внимание на переход к снижению энергоемкости пищевых продуктов. Такой переход невозможен без привлечения в технологии современного энергетического оборудования – теплонасосных установок (ТНУ) и тепловых труб (ТТ). Именно эти установки позволяют решать энерготехнологические задачи на передовом уровне. **Цель предлагаемого проекта:** снижение энергоемкости винодельческой продукции за счет использования комбинированных многоцелевых теплонасосных установок и тепловых труб в технологических процессах. Институтом

Энергетики АН Молдовы и Техническим Университетом Молдовы был предложен проект по снижению энергоемкости винодельческой продукции за счет использования комбинированных многоцелевых теплонасосных установок в технологических процессах, а Одесской Академией Пищевых технологий параллельно, в рамках того же проекта, разработан проект по использованию тепловых труб и тепловых насосов в ряде технологических процессов. **Решаемые задачи при реализации проекта молдавской стороной:** разработка схемы многоцелевой ТНУ для использования в процессах брожения, обработки вина холодом, санитарной обработки оборудования, кондиционирования микроклимата помещений. **Научная и производственная ценность,** ожидаемая от выполнения проекта: снижение энергоемкости вина; энергоэффективные схемы обработки вина теплом и холодом для винодельческой отрасли, что явится базой для снижения энергоемкости и в других отраслях агропромышленного комплекса Республики Молдова, разработка многоцелевой теплонасосной установки для виноделия, работающей на природном экологически чистом хладагенте, диоксиде углерода, снижающей затраты энергии при производстве вина. Использование полученных результатов обеспечит трансферт новых технологий в экономику путем организации производства указанных теплонасосных установок для модернизации установок для охлаждения бродящего сусле, установок для обработки теплом и холодом сусле и вин, установок для поддержания заданной температуры в помещениях для хранения вина, что приведет, в конечном итоге, к снижению энергоемкости продукции и снижению потребления природного газа.

Преимущества теплообменных аппаратов на основе тепловых труб (ТТ) вращающихся термосифонов (ВТС): автономность и высокая надежность в работе; возможность разделения потоков; возможность работы при больших перепадах давления; практически изотермическая работа поверхностей теплопередачи; удобная конструктивная развязка (разнообразие форм, размеров).

Аппараты на базе ВТС и ТТ могут решать широкий спектр проблем в винодельческой промышленности. А именно, задачи по эффективной передаче тепла к продукту – в процессах нагрева виноматериалов, мезги, процессах пастеризации виноматериалов, и дистилляции спиртосодержащих продуктов (вино, дрожжи, выжимка).

При получении кагорных материалов различного рода термосбраживатели, аппараты для термической обработки мезги могут быть усовершенствованы благодаря достоинствам ВТС. Недостатком известных конструкций подогревателей является наличие дополнительных систем подвода пара и отвода конденсата. Аппараты на базе ВТС, ТТ эффективно решают такие задачи.

2. Современное состояние исследований в данной области

На предприятиях пищевой промышленности для реализации технологических процессов весьма часто требуется использование холодильных машин. Так, например, на многих винодельческих заводах работают холодильные установки. С другой стороны, в течение всего года существует большая потребность в горячей воде, применяемой для различных видов очистки. Необходимо обеспечить также и отопление помещений.

Таким образом, имеются все условия для выгодного применения тепловых насосов. Однако в виноделии они практически не используются. Можно применить тепловые насосы в процессах брожения виноградного сусле при одновременном использовании теплоты, вырабатываемой тепловым насосом при санитарной обработке оборудования, приготовлении кагора, в процессах обработки вин холодом и в других

технологических процессах. Известно применение тепловых насосов в процессах использования низкопотенциального тепла в кондиционерах, при утилизации теплоты грунта, морской воды. Однако, при использовании теплонасосных установок в промышленности возникает ряд новых задач.

В связи с тем, что при брожении и обработке вин теплом теплонасосная установка (ТНУ) должна работать при переменной тепловой нагрузке и при переменных температурных уровнях работы конденсатора (или газоохладителя) теплового насоса возникает задача разработки термодинамических циклов теплового насоса и его системы управления, обеспечивающих высокий коэффициент тепловой эффективности теплового насоса. Кроме того, в связи с необходимостью перехода на природные хладагенты, необходимо использовать в ТНУ в качестве рабочего тела диоксид углерода, а работа ТНУ при использовании диоксида углерода на переменных режимах испарителя и газоохладителя мало исследована. В настоящее время не достаточно разработаны термодинамические циклы комбинированных (для производства тепла и холода одновременно) многоцелевых (для использования в различных технологических процессах) теплонасосных установок, а также их системы управления, которые должны обеспечивать максимальную тепловую эффективность таких установок встроенных в конкретные технологические процессы.

3. Основные цели и задачи проекта

Основной целью проекта является снижение потребления топлива (природный газ, мазут и пр.) путем разработки для винодельческой отрасли комбинированных теплонасосных установок (предназначенных для одновременной выработки тепла и холода), работающих на дешевом, экологически чистом природном хладагенте – диоксиде углерода, которые смогут обеспечить снижение потребления природного газа винодельческим предприятием и, таким образом, снижение энергоемкости выпускаемой им продукции. Поставленная цель будет достигнута за счет применения комбинированной многоцелевой теплонасосной установки с системой управления, использующей новые координирующие законы управления установкой в комплексе с технологическим объектом.

В настоящее время нам не известно использование комбинированных тепловых насосов на диоксиде углерода для технологических процессов виноделия при переменном температурном уровне работы испарителя и газоохладителя и при работе на переменных тепловых нагрузках. Экономический эффект от применения разработки заключается в снижении потребления газа при производстве вин и снижении за счет этого энергоемкости продукции. Научный эффект достигается за счет получения новых знаний, связанных с созданием комбинированных (производящих тепло и холод) многоцелевых теплонасосных установок на диоксиде углерода, работающих при переменных температурных уровнях испарителя и газоохладителя при переменной тепловой мощности испарителя. Ожидается, что результаты проекта позволят привлечь интерес научных организаций и предприятий ряда стран в развитии полученных в проекте результатов в направлении дальнейшего повышения эффективности использования теплонасосных установок на диоксиде углерода.

При использовании результатов проекта фирмами–изготовителями технологического оборудования появится возможность занять новую нишу на рынке теплотехнической продукции. При этом будут созданы новые производства и новые рабочие места.

4. Расчет экономического эффекта от использования теплонасосных технологий при брожении виноградного сусла.

Исходные данные:

1. Минимальное содержание сахара в сусле S% 14,2% (в соответствии со стандартом Республики Молдова SM84 “Виноград свежий для промышленной переработки”).

2. Средняя масса сусла в резервуаре для брожения – 2000 дал (M~20000 кг).

3. Среднее время активного брожения $t = 6...10$ суток (144...240 часов). В дальнейшем примем время брожения равным 160 часам.

4. Среднее количество тепла, выделяемого при спиртовом брожении одного грамма сахара, по данным [1] составляет 0,145 ккал или ($q=0,145*4,189=0,607$ кДж).

Определим количество тепла, которое выделится при брожении 20000 кг сусла с сахаристостью 14,2% за все время брожения.

$$Q = q \cdot S \cdot M = 607 \text{ kJ / kg} \cdot 0,142 \cdot 20000 \text{ kg} = 1723380 \text{ kJ} \cong 1,725 \text{ GJ} \quad (1)$$

Это тепло необходимо передать на высокий температурный уровень с помощью теплонасосной установки. При условии, что коэффициент тепловой эффективности COP составит 3,5...4, то теплота, переданная через газоохладитель теплонасосной установки от теплоты бродящего сусла в одном резервуаре за один цикл наполнения, составит 2,17...2,07GJ (несколько больше, чем теплота брожения за счет принципа действия ТНУ).

Установленная мощность электродвигателя теплонасосной установки вычисляется по формуле:

$$N = Q / (COP - 1) / t / 3600 \quad (2)$$

При подстановке в формуле COP=4, мощность электродвигателя насоса составит ~1,0 кВт.

Для получения такого же количества теплоты, которое выработает тепловой насос, от газового котла с КПД 90%, необходимо затратить $M = 71,7 \dots 68,3 \text{ м}^3$ природного газа при теплотворной способности газа 8038 ккал ($q_t = 8038 \text{ ккал/м.куб} = 8038 * 4,189 = 33761 \text{ кДж.}$).

При цене газа 3080 лей за 1000 м³ экономический эффект составляет 220.9...210.4 лей на одну емкость за один цикл брожения (6 дней).

При сезоне переработки 20 дней (480 часов) эффект от использования ТНУ на одну емкость составит $(210,4 \dots 220,9) * 3 = 631,2 \dots 662,7$ лей.

При сахаристости винограда 22%, экономический эффект от использования ТНУ соответственно возрастет в $22/14,2 = 1,49$ раза. Следует отметить, что тепло, вырабатываемое теплонасосной установкой, может быть направлено не только на мойку, но и на нагрев мезги в установку для производств вин типа «кагор». В этом случае, температура нагреваемой воды установкой может быть поднята до 70...90⁰С.

Расчет экономического эффекта от использования теплонасосной установки в процессах обработки вин холодом

Исходные данные: при обработке вина холодом: за 1,5 часа обрабатывается 1000 дал ($M \sim 10400$ кг) вина от начальной температуры $t_H = 16^\circ C$ до конечной температуры $t_K = -3^\circ C \pm 1^\circ C$. Значение величины теплоемкости вина «с» находится в диапазоне от 3,39...3,98 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ C)$ [1]. Плотность вина принята равной $\rho = 1040 \text{kg}/\text{m}^3$. Время обработки порции вина M t_O принято равным 1,5 часа. Масса переработанного винограда за сезон: $M1 = 5000000 \text{kg}$.

В дальнейшем все расчеты будем приводить к мощности теплового насоса равной 1 кВт. (Реально мощность электропривода теплового насоса может быть выбрана 5...8 кВт в зависимости от условий, связанных с конструкцией оборудования винзавода).

Определим, сколько теплоты может при этом отдать установка, работая в режиме теплового насоса, нагревая воду от температуры $16^\circ C$ до температуры $65^\circ C$ (в этом случае вода поступает на цели мойки оборудования и т.д.). $COP=3,5$. Теплота, отдаваемая обрабатываемой порцией вина испарителю ТНУ, рассчитывается по формуле:

$$Q1 = M \cdot c \cdot (t_H - t_K) \quad (3)$$

При подстановке исходных данных в формулу (3) получаем: $Q1 = 644100 \dots 756200 \text{kJ}$.

Количество тепла, отдаваемое газоохладителем теплового насоса на диоксиде углерода потребителю тела, вычисляем по формуле:

$$Q_H = Q1 \cdot (COP / (COP - 1)) \cdot \eta_H \quad (4)$$

При подстановке в (4) полученных данных и $\eta_H = 0,9$ получим: $Q_H = 890920 \dots 1046000 \text{kJ}$.

Определим мощность электропривода теплового насоса, для данного случая по формуле:

$$N = Q1 / (COP - 1) / t_O / 3600 \quad (5)$$

После подстановки вычисленных значений в формулу (5) получим: $N = 49,6 \dots 58,3 \text{kWt}$.

Определим, какое количество теплоты вырабатывается тепловым насосом в расчете на 1 кВт электрической мощности при охлаждении этим насосом объема вина, соответствующего массе винограда, переработанного винзаводом с мощностью 5000 тонн за сезон по формуле:

$$Q_{UD} = \frac{M1 \cdot 0,69 \cdot c \cdot (t_H - t_K)}{N} \quad (6)$$

В результате получим: $Q_{UD} = 5,92 \cdot 10^6$ кДж на 1 кВт электрической мощности ТНУ.

Стоимость газа, который пойдет на выработку этой теплоты котельной с КПД равным $\eta_k = 0,9$ и при цене 1 м.куб. газа $p_1 = 3,08$ лей будет равна:

$$P = \frac{Q_{UD}}{q_t \eta_k} \cdot p_1 \quad (7)$$

В результате подстановок соответствующих значений в формулу (7) получим: $P = 3038...5432$ лей.

Тогда простой срок окупаемости составит при мелкосерийном производстве ТНУ и стоимости 1 кВт тепловой мощности 3000 лей:

$$T_o = \frac{3000}{(631,2 + 3038) \dots (662,7 + 5432)} = 0,82...0,49 \text{ года.}$$

Вино должно выдерживаться при температуре $8...11^{\circ}\text{C}$ для белых вин и $14...16^{\circ}\text{C}$ для красных столовых вин[2]. Тогда в период с апреля по июль месяц вино может охлаждаться за счет использования вместо существующей холодильной установки и при этом вырабатывать тепловую энергию, необходимую предприятию. В период после завершения выдержки вина установка может быть использована для кондиционирования воздуха в помещениях (вместо существующих кондиционеров) и также вырабатывать тепло для нужд предприятия.

При наличии на заводе установки для перегонки спирта, ТНУ может быть использована в межсезонный период для повышения степени рекуперации теплоты барды и выработки тепла для подогрева воды для котельной, питающей паром брагоректификационную установку.

Использование теплового насоса с регенеративным теплообменником на тепловых трубах в составе пастеризационно - охладительной установки в линии розлива вина снижает расход пара.

Выводы.

Применение тепловых насосов и тепловых труб в виноделии может обеспечить снижение энергоемкости производства вина и снижение его себестоимости.

Литература

1. Субботин В.А., Тюрин С.Т., Валуйко Г.Г. «Физико-химические показатели вина и виноматериалов», «Пищевая промышленность», М, 1972.
2. Балануцэ А.П., Мустяцэ Г.Ф. Современная технология столовых вин. Кишинев. Карта Молдовеняскэ, 1985. –223 с.
3. A. Juravleov, M. Sit, B. Sit, O. Poponova, A. Zubatai, D.i Timcenco “The use of heat pump systems in district heating” [Analele Universității din Craiova, Seria: Inginerie Electrică](#), Anul 31, nr.31, 2007, Vol.II, p.229...232
4. Журавлев А.А., Шит М.Л., Зубатый А.А., Попонова А.В., Шит Б.М., Тимченко Д.В. «Технико–экономическая эффективность использования тепловых насосов на ТЭЦ». Problemele Energeticii Regionale N1, 2007, с. 70–73.

5. Шит М.Л., Журавлев А.А., Попонова О.Л., Шит Б.М., Тимченко Д.В. “Применение теплонасосных установок в квартальных тепловых сетях”. III Третья Международная научно-техническая конференция [«Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»](#). 13-15 ноября 2007 г., СПбГУНиПТ.с.117-124.
6. Шит М.Л., Журавлев А.А., Попонова О.Л., Шит Б.М., Тимченко Д.В.«Применение теплонасосных установок в квартальных тепловых сетях централизованного теплоснабжения». IV Международная конференция [«Возобновляемая и малая энергетика»](#), 24-25 октября 2007 г., Москва. Тезисы докладов, с. 57...61.
7. Şit В.М., Juravleov А.А., Şit М.Л. Sporirea eficienţei energetice a instalaţiei cu pompă de căldură cu bioxid de carbon utilizată în sistemul combinat de termoficare prin optimizarea sistemului de dirijare. [Problemele Energeticii Regionale, N1\(6\)2008](#), 7–13.
8. Журавлев А.А., Шит М.Л., Шит Б.М., Попонова О.Б., А.Л. Зубатый Система регулирования газоохладителя теплонасосной установки в комбинированной системе теплоснабжения в широком диапазоне изменения тепловой нагрузки, [Problemele Energeticii Regionale N2, 2008](#), с. 54–59.
9. Sit M.L., Juravliov A.A., Sit B.M. Optimization of the thermodynamic cycle and control system of heat pump station in the wide range of heat capacity variation. International Conference. International Seminar “Heat pipes, heat pumps, Refrigeration, Power Sources”, Minsk, 2008, p.438–444.
10. Шит М.Л., Журавлев А.А., Шит Б.М. Управление теплонасосной установкой на диоксиде углерода в широком диапазоне изменения тепловой нагрузки. Наукові праці Одеської Національної Академії Харчових Технологій, випуск 32, т.1., с.293-298. Украина, Одесса.
11. Sit B., Juravleov A., Sit M. Control system of gas cooler of heat pump on carbon dioxide for district heating system. ”Modelling and optimization in the machines building field”, ISSN 1224-7480, Editura ALMA MATER, МОСМ14, v.4, pp.137-142, a. 2008, România, Vasău.
12. Шит М.Л., Журавлев А.А., Шит Б.М. Определение динамических характеристик газоохладителя теплового насоса на диоксиде углерода в сверхкритическом цикле. [Problemele Energeticii Regionale, N3\(8\)2008](#), с. 73-80.
13. Шит Б.М. Система управления газоохладителем теплового насоса на диоксиде углерода в сверхкритическом цикле. Труды Четвертой Международной конференции по проблемам управления. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, Россия, Москва, 26-30 февраля, 2008 г., стр.134-142.
14. Зубатый А.Л., Журавлев А.А., Шит М.Л. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения путем применения теплонасосных установок. Meridian Ingineresc, Nr.1, 2009 (в печати).
15. A. Bălănuță, I. Lazarev, A. Antonovici “Procedeu de contactare a gazului cu un component lichid”, Coneferința tehnico–ştiinţifică a colaboratorilor şi studenţilor UTM, 16 noiembrie 2007.
16. A. Bălănuță, A. Scifos Разработка технологии крепких алкогольных напитков из растительного сырья Молдавии. VI Международная научно–техническая конференция. Могилевский Государственный Университет продовольствия. 23–23 мая 2007 г.
17. A. Bălănuță, A. Palamarciuc, A. Scifos Obţinerea maceratelor hidroalcoolice din materia primă vegetală locală. Meridian Ingineresc, Nr.2, 2007.

