

УДК 621.58

## **ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛА И ХОЛОДА ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Смурыгин В.С., Краснов С.А., Кряклина И.В., Шешунова Е.В.**

*ФГБОУ ВПО Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль,  
Россия (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58) yaragrovuz.ru*

Предложена высокоэффективная энергосберегающая технология получения тепла и холода для животноводческого комплекса с использованием тепловых насосов. Основное потребление теплоты на животноводческом комплексе идет на горячее водоснабжение и отопление родильных отделений. Холод используется для первичной обработки молока. Тепловые насосы являются высокоэффективными энергетическими устройствами, позволяющими использовать энергию возобновляемых источников, в данном случае – тепло грунтовых вод. Тепловые насосы позволяют получать тепло и холод одновременно. Представлена функциональная математическая модель нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса и пластинчатого теплообменника. На основании математической модели разработан алгоритм реализации этого процесса. Приведены результаты энергетического и экономического расчета эффективности применения предлагаемой технологии для фермы на 200 голов крупного рогатого скота. Внедрение данной высокоэффективной технологии приведет к существенной экономии энергии на животноводческом комплексе.

Ключевые слова: энергосберегающая технология, животноводческий комплекс, тепловой насос, возобновляемые источники энергии.

## **RECEPTION OF HEAT AND COLD FOR THE CATTLE-BREEDING COMPLEX WITH USE HIGHLY EFFECTIVE POWER SAVING UP TECHNOLOGY**

**Smurygin V. S., Krasnov S.A., Krjaklina I.V., Sheshunova E.V.**

*Yaroslavl state agricultural academy, Yaroslavl,  
Russia (150042. Yaroslavl, Tutaevsky highway, 5) yaragrovuz.ru*

The highly effective power saving up technology of reception of heat and cold for a cattle-breeding complex with use of thermal pumps is offered. The basic consumption of warmth on a cattle-breeding complex goes on hot water supply and heating of delivery rooms. The cold is used for milk preprocessing. Thermal pumps are the highly effective power devices, allowing to use energy of renewed sources, in this case – warmly ground waters. Thermal pumps allow to receive heat and a cold simultaneously. The functional mathematical model of heating of water and cooling of milk by means of the thermal pump and the lamellar heat exchanger is presented. On the basis of mathematical model the algorithm of realization of this process is developed. Results of power and economic calculation of efficiency of application of offered technology for a farm on 200 goals of horned cattle are resulted. Introduction of the given highly effective technology will lead to essential economy of energy on a cattle-breeding complex.

Keywords: power saving up technology, a cattle-breeding complex, the thermal pump, renewed energy sources.

Стоимость энергии в целом по России и для АПК постоянно повышается, поэтому актуальным является снижение ее потребления в результате замещения дорогостоящих и ограниченных видов топлива более дешевыми и доступными источниками энергии – возобновляемыми.

Целью исследования являлось определение экономической эффективности применения технологии нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплообменников и теплового насоса на фермах крупного рогатого скота.

Основное потребление теплоты в животноводческих комплексах идет на горячее водоснабжение, для технологических нужд и для проведения санитарно-гигиенических мероприятий.

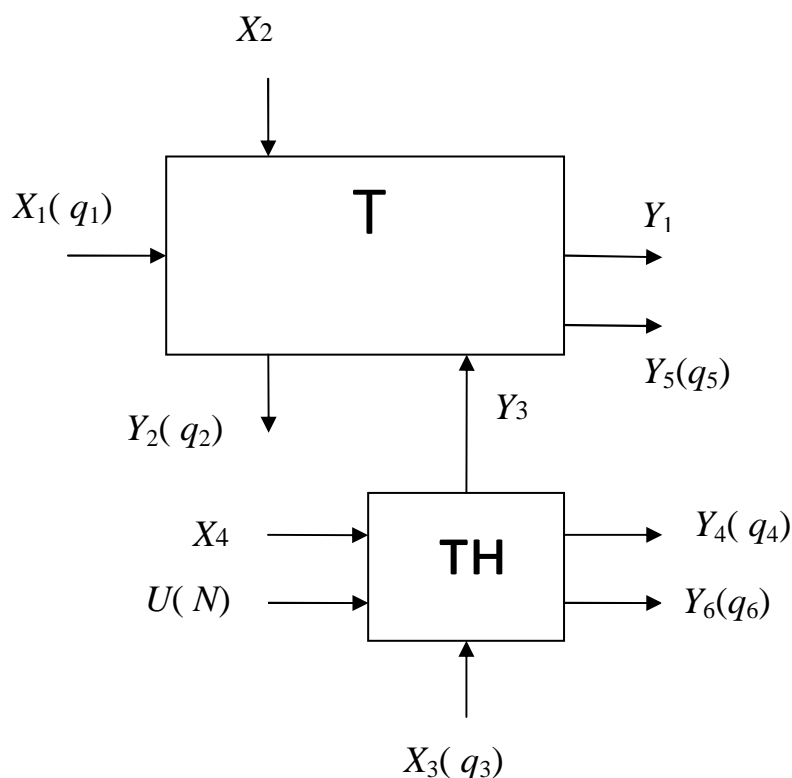
Большое количество нагретой воды различной температуры расходуется на приготовление кормов, поение животных в холодное время года, обмывание вымени коров перед доением, промывки молокопроводов, фляг, посуды, молочных резервуаров, пастеризации молока [2]. Для отопления отдельных помещений животноводческих ферм (родильных отделений и телятников) используют децентрализованное теплоснабжение – местную систему отопления с генератором теплоты [1]. Применяют различные теплогенерирующие установки: котлы-парообразователи, работающие на твердом, жидком и газообразном топливе, с системой водяного или парового отопления; огневые теплогенераторы или топочные агрегаты, электрокалориферные установки; тепловентиляторы; отопительно-вентиляционные агрегаты; электроводонагреватели; электропарогенераторы и др. [2].

Взамен затратного механизма теплогенерирующих установок с низким коэффициентом полезного действия предлагаем использовать высокоэффективную энергосберегающую технологию получения необходимого тепла с помощью тепловых насосов для горячего водоснабжения, отопления родильных помещений и телятников, подогрева полов стойловых мест. Тепловые насосы также обеспечат одновременное получение холода, необходимого для первичной обработки молока [1,3].

Тепловые насосы являются высокоэффективными энергетическими устройствами, позволяющими использовать энергию возобновляемых источников, в данном случае – тепло грунтовой воды [5]. Грунтовая вода из артезианской скважины будет нагреваться теплом, отдаваемым охлаждаемым молоком и теплом, забираемым тепловым насосом тоже у грунтовой воды.

Для определения и оптимизации термодинамических характеристик процесса нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса предлагаем функциональную математическую модель. Эта модель представляет установку нагрева воды и охлаждения

молока в виде динамической системы, осуществляющей преобразование входных возмущающих и управляющих воздействий в выходные переменные параметры.



**Рис.1. Функциональная математическая модель нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса и теплообменника**

**Т** – теплообменник; **ТН** – тепловой насос

$X_1 = \{ t_{x1}; G_{x1}; c_{x1}; q_1 \}$  – входной вектор условий охлаждения молока.  $t_{x1}$  – температура молока на входе в теплообменник, °С;  $G_{x1}$  – расход молока, кг/с;  $c_{x1}$  – теплоемкость молока, Дж/(кг·К);  $q_1$  – количество тепла, передаваемое молоком охлаждающей воде, Вт.  $X_2 = \{ t_{x2}; G_{x2}; c_{x2} \}$  – входной вектор условий нагрева воды.  $t_{x2}$  – температура грунтовой воды на входе в теплообменник, °С;  $G_{x2}$  – расход грунтовой воды, кг/с;  $c_{x2}$  – теплоемкость грунтовой воды, Дж/(кг·К).  $Y_1 = \{ t_{y1}; G_{x1}; c_{x1} \}$  – выходной вектор охлажденного молока.  $t_{y1}$  – температура охлажденного молока, °С.  $Y_2 = \{ t_{y2}; G_{x2}; c_{x2}; q_2 \}$  – выходной вектор нагретой воды.  $t_{y2}$  – температура воды на выходе из теплообменника, °С;  $q_2$  – количество тепла, переданное воде, Вт.  $X_3 = \{ t_{x2}; G_{x3}; c_{x2}; q_3 \}$  – входной вектор возобновляемого источника энергии (грунтовой воды).  $G_{x3}$  – расход грунтовой воды на входе в тепловой насос, кг/с;  $q_3$  – количество тепла, отбираемого у возобновляемого источника энергии, Вт.  $X_4 = \{ t_{x4}; G_{x4}; c_{x2} \}$  – входной вектор

нагреваемой воды.  $t_{x4}$  – температура нагреваемой воды на входе в тепловой насос, °С;  $G_{x4}$  – расход нагреваемой воды на входе в тепловой насос, кг/с.  $Y_3 = \{ t_{y3}; G_{x3}; c_{x2} \}$  – выходной вектор возобновляемого источника энергии.  $t_{y3}$  – температура возобновляемого источника энергии на выходе из теплового насоса, °С.  $Y_4 = \{ t_{x4}; G_{x4}; c_{x2}; q_4 \}$  – выходной вектор нагретой воды.  $t_{x4}$  – температура нагретой воды на выходе из теплового насоса, °С;  $G_{y4}$ , кг/с;  $q_4$  – количество тепла, переданного нагреваемой воде, Вт.  $U = \{ N \}$  – входной управляющий вектор теплового насоса.  $N$  – мощность теплового насоса, Вт.  $Y_5 = \{ q_5 \}$  – выходной вектор потерь тепла в теплообменнике.  $q_5$  – потери тепла в теплообменнике, кВт.  $Y_6 = \{ q_6 \}$  – выходной вектор потерь тепла в тепловом насосе.  $q_6$  – потери тепла в тепловом насосе, кВт.

Получаем следующие выражения:  $Y_1 = W_1 [X_1; X_2; Y_3]$ ;  $Y_2 = W_2 [X_1; X_2; Y_3]$ ;  $Y_3 = W_3 [X_3; X_4; U]$ ;  $Y_4 = W_4 [X_3; X_4; U]$ ;  $Y_5 = W_5 [X_1; X_2; Y_3]$ ;  $Y_6 = W_6 [X_3; X_4; U]$

На основании модели составляем алгоритм реализации процесса нагрева воды и охлаждения молока тепловым насосом (рис.2).

Представляем оценку технико-экономической эффективности предлагаемой технологии нагрева воды с использованием теплового насоса.

На ферме на 200 голов в среднем за год получают  $G_m = 931400$  кг молока. Температура выдаиваемого молока равна температуре тела коровы, которая в зависимости от времени суток колеблется в диапазоне от 37,5 °С до 39,5 °С. В расчет принимаем нижнее значение, которое с учетом прохождения молока по молокопроводу и разделителю понизится на 2 °С и к моменту поступления на пластины теплообменника составит 35,5 °С.

При охлаждении молока общее количество тепла, переданного молоком нагреваемой воде за год, определим по формуле [4]:

$$Q_m = G_m c_{x1} (t_{x1} - t_{y1}) = 931400 \cdot 0,936 \cdot 4,187 (35,5 - 4) = 114980882 \text{ кДж}$$

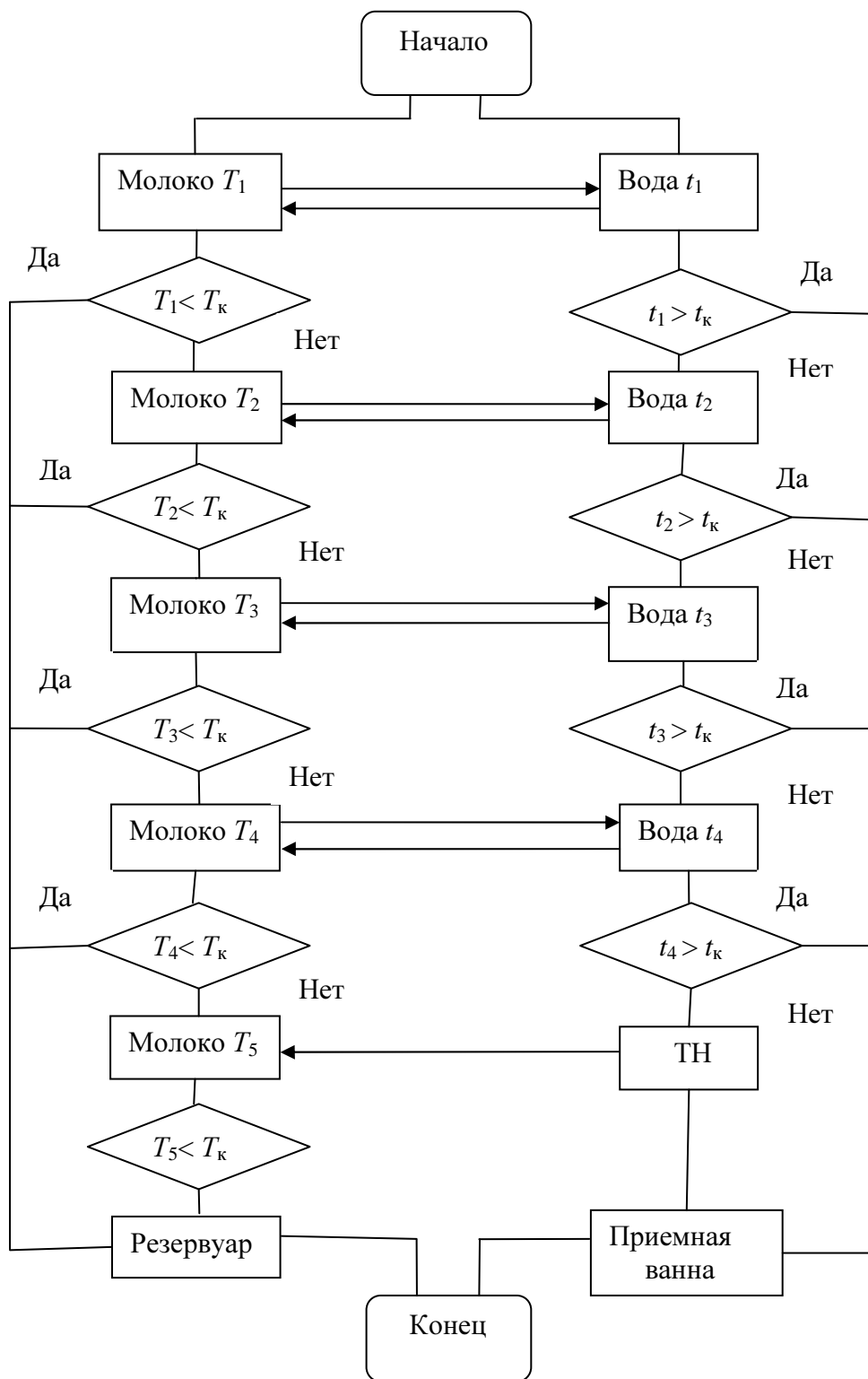


Рис. 2. Алгоритм реализации процесса

нагрева воды и охлаждения молока

тепловым насосом и теплообменником

$T$  – температура молока;  $t$  – температура воды

В пересчете на теплотворную способность стандартного топлива, за которое в теплотехнике принимается каменный уголь среднего качества, такое количество тепла можно получить при сжигании (без учета КПД) 5,9 тонн такого топлива. В настоящее время средняя стоимость 1 тонны угля по данным Отдела цен при Правительстве Ярославской области составляет порядка 3880 рублей.

Таким образом, стоимость замещенного топлива по ферме на 200 голов со средним удоем 4650 кг молока в год составляет 22892 рубля.

Кроме того, через тепловой насос для доохлаждения молока за год будет пропущено 3590 тонн воды. Общее количество тепла, отданного грунтовой водой за год для нагрева необходимой для животноводческого комплекса воды, определим по формуле:

$$Q_{\text{в}} = 3G_{\text{м}} c_{\text{х2}} (t_{\text{х2}} - t_{\text{у3}}) = 3 \cdot 931400 \cdot 4,187 (8 - 2) = 70195892 \text{ кДж}$$

Всего от молока и грунтовой воды можно получать в год 185176774 кДж тепла, которое можно использовать для горячего водоснабжения, отопления родильного отделения и подогрева полов стойловых мест. В пересчете на стоимость стандартного топлива, которое потребуется для получения аналогичного количества тепловой энергии, потребуется 36860 рублей.

Следовательно, при условии утилизации всего тепла, которое можно получить от охлаждения молока 200 коров за год с применением теплового насоса и теплообменника сумма сбережения может составить 36860 рублей.

Для оценки технико-экономической эффективности предлагаемой технологии сравним ее с технологией нагрева воды электроводонагревателем ЭВ-Ф-15 (стоимость 159600 руб.).

Затраты на амортизацию рассчитаем по формуле:

$$P_{\text{а}} = p \cdot C = 0,05 \cdot 159600 = 7980 \text{ руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт:

$$P_{\text{р}} = k \cdot C = 0,048 \cdot 159600 = 7660,8 \text{ руб.}$$

Для нагрева воды электроводонагревателем необходимо затратить тепла:  $10777000 \cdot 1 \cdot (45 - 8) = 398749000$  ккал

$$1 \text{ ккал} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}\cdot\text{ч}; \quad 398749000 \cdot 0,00116 = 462549 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Из технической характеристики электронагревателя известно, что удельный расход электроэнергии составляет 0,088 кВт·ч/л, тогда  $10770000 \cdot 0,088 = 947760$  кВт·ч. Затраты на электроэнергию составят:  $947760 \cdot 3,03 = 2871712,8$  руб.

Экономическая эффективность использования теплового насоса на ферме с поголовьем коров – 200, с удоем 4657 кг молока сложится из экономии затрат на покупные теплоносители в виде чистого дохода, учитывающего текущие эксплуатационные издержки.

Для реализации проекта потребуются определенные суммы инвестиций в виде капитальных вложений и текущих затрат. Капитальные затраты включают в себя затраты на покупку и установку теплового насоса, затраты на дооснащение теплообменника пластинами, затраты на оплату труда на дооснащение пластинами (121884 руб.). Годовые эксплуатационные затраты состоят из затрат на амортизацию, затрат на ремонт и техническое обслуживание, затрат на электроэнергию (33178,5 руб.).

Годовая сумма сберегаемого дохода составит 209230 руб. Чистый доход составит 165611,5 руб. Срок окупаемости капитальных вложений:  $1/0,8 = 1,25$  года.

Таким образом, на основании функциональной математической модели процесса нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса и теплообменника составлен алгоритм реализации этого процесса. Можно сделать вывод, что использование эффективной энергосберегающей технологии нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса и теплообменника приведет к существенной экономии энергии на фермах крупного рогатого скота.

#### Список литературы

1. Бабкин В.П. Механизация доения коров и первичной обработки молока / В.П. Бабкин. – М.: Агропромиздат, 1986.
2. Баутин В.М. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / В.М. Баутин [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Белянчиков Н.Н. Доение и первичная обработка молока / Н.Н. Белянчиков. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 44 с.
4. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.
5. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

Рецензенты:

Орлов П.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой электрификации, ФГБОУ ВПО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ярославль.

Бобылев А.К., д.б.н., профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВПО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ярославль.