

3. Котенджи, Г. П. Подготовка нетелей к лактации / Г. П. Котенджи, А. А. Курочкин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1987. – №4. – С. 32-34.
4. Курочкин, А. А. Повышение эффективности подготовки нетелей к лактации за счет совершенствования процессов и средств механизации : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Курочкин Анатолий Алексеевич. – СПб., 1993. – 42 с.
5. А. с. №1337006 СССР. Устройство для массажа вымени животных / А. А. Курочкин [и др.]. – №3878356 ; заявл. 23.03.85 ; опубл. 15.09.87, Бюл. №34. – 2 с.
6. Курочкин, А. А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата // Инновационная техника и технология. – 2014. – №4. – С. 17-21.
7. Курочкин, А. А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №4 (32). – С. 172-177.
8. Курочкин, А. А. Анализ конструктивно-технологических схем устройств для массажа вымени нетелей // Инновационная техника и технология. – 2016. – №1. – С. 29-34.
9. Курочкин, А. А. Математическое моделирование пневмосистемы устройств для массажа вымени нетелей двухкамерного типа // Инновационная техника и технология. – 2016. – №2. – С. 25-33.
10. Скроманис, А. А. Основы расчета доильных аппаратов и установок. – Елгава : ЛСХА, 1980. – 320 с.
11. Ужик, О. В. Разработка и теоретическое обоснование технологий и технических средств для молочного скотоводства : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ужик Оксана Владимировна. – Белгород, 2014. – 388 с.

DOI 10.12737/21789

УДК 637.133.1

СЕКЦИОННЫЙ АККУМУЛЯТОР ПРИРОДНОГО ХОЛОДА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА НА ФЕРМАХ

Козловцев Андрей Петрович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев 18.

E-mail: ap_kozlovcev@mail.ru

Квашеников Василий Иванович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев 18.

E-mail: vasiliy056@mail.ru

Константинов Михаил Маерович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев 18.

E-mail: miconsta@yandex.ru

Козловцева Светлана Петровна, аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев 18.

E-mail: spk587@mail.ru

Ключевые слова: охлаждение, молоко, лед, намораживание, энергосбережение.

Цель исследования – поиск и обоснование новых методов, научно-методологических основ снижения энергетических затрат на охлаждение продукции молочно-товарных ферм в процессе ее производства и переработки за счет широкого использования естественного холода. В последние годы наблюдается тенденция возврата интереса к использованию естественного холода в переработке и хранении продуктов питания. Увеличению интереса к использованию природного холода способствует, прежде всего, обострение энергетических проблем. Рост мирового промышленного производства требует постоянного увеличения энергопотребления. Это ведет к постоянному повышению стоимости энергоносителей и в сельском хозяйстве довольно серьезно отражается на себестоимости получаемой продукции. Использование природного холода в охлаждении молока является очень распространенным направлением не только в научно-исследовательских работах и в новых идеях изобретателей, но и при производстве холодильной техники. Вариантом применения природного холода являются водооборотные льдоаккумуляторы для молочно-товарных ферм. Разработанные льдоаккумуляторы просты по конструкции, надежны в работе, не требуют сложного технического обслуживания, долговечны и не используют электроэнергию при наморозке льда и дальнейшего охлаждения молока. Использование таких устройств позволит снизить себестоимость производства и переработки молока на молочно-товарных фермах и перерабатывающих предприятиях, сократить затраты труда обслуживающего персонала.

Использование природного холода в охлаждении молока является очень распространенным направлением не только в научно-исследовательских работах и в новых идеях изобретателей, но и при производстве холодильной техники. Вариантом применения природного холода являются водооборотные

льдоаккумуляторы для молочно-товарных ферм, о чем можно судить по научным трудам многих ученых [1, 2, 3, 4, 5].

В нашей стране накоплен большой опыт (с 1960-х годов) использования природного холода с помощью вертикальных трубчатых парожидкостных теплопередающих устройств (термосифонов) для замораживания грунтов в арктических районах добычи полезных ископаемых.

С целью стабилизации высоковлажных слабomёрзлых грунтов под основаниями зданий и инженерных сооружений их в зимний период промораживают до температур, близких к температурам наружного воздуха ($-20...-50^{\circ}\text{C}$).

Главным условием работоспособности термосифона, как теплопередающего устройства, является наличие разности температур ΔT (температурный напор) между концами трубы – испаритель (один конец) – конденсатор (другой конец). Термосифоны начинают функционировать уже при $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$.

В арктических районах термосифоны, именуемые термостабилизаторами грунтов, работают в области отрицательных температур $-5^{\circ}\text{C}...-50^{\circ}\text{C}$ $\Delta T = 10...35^{\circ}\text{C}$. Но температурный напор в пределах $5...35^{\circ}\text{C}$ можно получить при охлаждении сельскохозяйственной продукции и в более южных широтах Российской Федерации. На молочных фермах молоко, например, после тепловой пастеризации охлаждают с 65 до 5°C . При нулевой температуре наружного воздуха ΔT может составлять $5...60^{\circ}\text{C}$, что является хорошим условием для использования термосифонов. Такие условия имеют место в большинстве регионов Российской Федерации в осенне-зимне-весенний период года – $100...130$ суток в году.

Более того, за морозный период в регионах с резко-континентальным климатом и суровыми зимами термосифонами можно наморозить достаточное количество водного льда и использовать его в летний период до наступления нового «холодного» периода. Это позволит полностью отказаться от дорогостоящих в производстве и эксплуатации холодильных машин и в течение всего года охлаждать молоко природным холодом.

Термосифоны не потребляют электроэнергию, не требуют технического обслуживания и ремонта, срок службы их $25...35$ лет. Для сравнения срок службы холодильных машин $6...8$ лет [6].

Цель исследований – поиск и обоснование новых методов, научно-методологических основ снижения энергетических затрат на охлаждение продукции молочно-товарных ферм в процессе ее производства и переработки за счет широкого использования естественного холода.

Задача исследований – выявить оптимальную конструкцию аккумулятора холода для охлаждения молока.

Материалы и методы исследований. На кафедре МТП в АПК Оренбургского ГАУ совместно с НПО «Фундаментстройаркос» г. Тюмень в 2015 г. был проведен расчёт льдохранилища с габаритами в плане $20,0 \times 6,0$ (м) глубиной $3,0$ м. Стены и дно бассейна теплоизолированы слоем пеноплекса толщиной 200 мм по всему контуру. Климатические характеристики приняты по метеостанции г. Оренбурга.

Расчёты показали, что при установке в данный бассейн 120 штук термосифонов (термостабилизаторов) ТК 32/6,0 конструкции НПО «Фундаментстройаркос» в условиях Оренбургской области за декабрь, январь, февраль месяцы (90 сут.) вся вода в бассейне будет заморожена. Общая масса льда в бассейне составляет 243690 кг, что соответствует запасу холода в 243690 кг $\times$ 335 кДж/кг = $0,8164 \cdot 10^8$ кДж. Таким количеством холода с учетом потерь в 10% можно охладить с 30°C до 5°C годовой удой от стада в 200 коров с годовой продуктивностью 4000 кг на голову. Удельная нагрузка составляет $1,7$ коровы на 1 термосифон. Но удельную нагрузку на термосифон можно повысить, увеличив срок функционирования термосифонов с 90 до $130...140$ суток в году, исходя из следующих соображений.

В конце февраля, начале марта, когда температура атмосферного воздуха повысится до «околонулевых» значений, вокруг испарителя каждого термосифона будет наморожен ледяной цилиндр радиусом $0,3...0,5$ м.

Функционирование термосифонов с этого момента прекращается, так как период температур между испарителем и конденсатором $\Delta T \approx 0^{\circ}\text{C}$.

Теплая вода с температурой $15...20^{\circ}\text{C}$, поступающая в бассейн от охладителей молока, не может контактировать непосредственно со стенкой испарителя термосифона, так она «теплоизолирована» слоем льда цилиндрического монолита. Утилизация теплоты от охлажденного молока с этого момента осуществляется только за счет таяния льда монолита, намороженного в предыдущем морозном периоде. Если бы ледяной монолит вокруг каждого испарителя к этому моменту разрушить, обеспечивая контакт воды непосредственно со стенкой испарителя, то термосифон продолжал бы функционировать и при «плюсовых» температурах вплоть до повышения температуры наружного воздуха до 5°C . Однако экологически приемлемых технических решений удаления льда со стенок испарителя на сегодня не существует.

Для реализации названной идеи можно применить технологический способ, суть которого заключается в следующем.

В заглубленную (полузаглубленную или наземную) часть льдохранилища (бассейны) вставлены испарительные части термосифонов 2. В осенний период при наступлении нулевых температур атмосферного воздуха термосифоны перекачивают теплоту от воды бассейна в окружающую атмосферу, так как температура воды в бассейне после охлаждения молока в проточном (или емкостном) охладителе 12 равна 15...20°C. К началу очередного доения коров вода в бассейне охладится до температуры, близкой к температуре наружного воздуха. Термосифоны функционируют круглосуточно, т.е. до тех пор, пока ΔT станет близка к нулевому значению [6].

Весь объем льдохранилища состоит из двух самостоятельных, независимых друг от друга секций: оперативная секция и секция летнего резерва. Оперативная секция используется 170 суток в году: 3-я декада октября – ноябрь-декабрь-январь-февраль-март-1-я декада апреля. Охладители молока на ферме в этот период закольцованы только на эту секцию. Схема такого аккумулятора холода показана на рисунке 1.

В оперативной секции «А» ежедневно, 2...3 раза в день (в зависимости от кратности доения) происходит интенсивный процесс тепломассообмена с окружающей средой: в часы доения в секцию поступает суточное количество теплоты ($Q_{сут.}$) от охлаждаемого молока, а в перерывах между дойками, в том числе, в ночные часы, термосифоны перекачивают теплоту в окружающий холодный воздух.

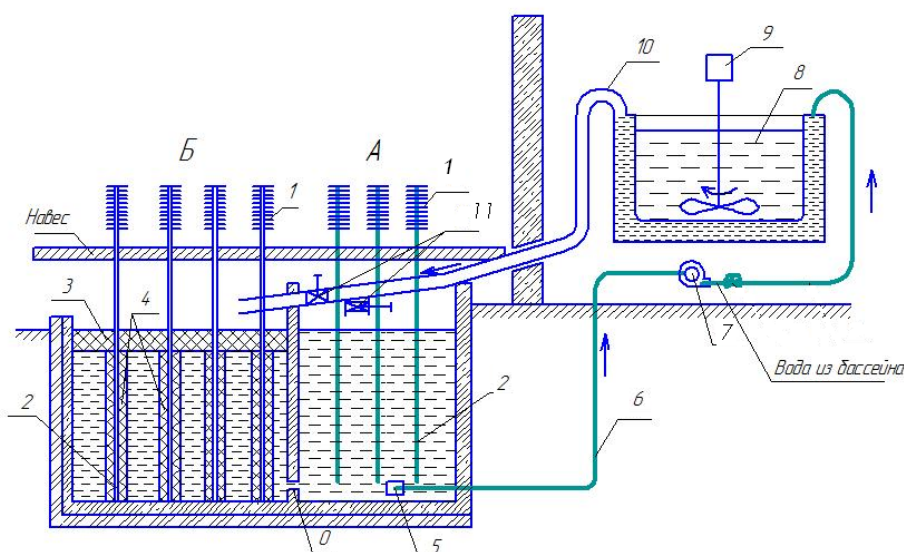


Рис. 1. Технологическая схема двухсекционного аккумулятора природного холода:

0 – соединительное отверстие; 1 – термосифон; 2 – испаритель термосифона; 3 – поверхностный лед; 4 – лед, образованный работой термосифона; 5 – фильтр; 6 – труба подачи ледяной воды; 7 – насос; 8 – молоко; 9 – мешалка молока; 10 – трубопроводы сброса теплой воды; 11 – краны

В секции резерва «Б» никаких массообменных процессов не происходит, вода не перемешивается и в период отрицательных температур на водной поверхности секции, вокруг испарителей термосифонов намораживается ледяной слой. Для предохранения стен секции от разрушения при намерзании льда вокруг испарителей обе секции в нижней части соединяются отверстием «О».

Результаты исследований. Нетрудно подсчитать, что в односекционном объеме льдохранилища (360 м³, 120 термосифонов, 90 суток с отрицательными температурами) секундная холодопроизводительность одного термосифона равна 0,116 кВт.

В оперативной секции в результате интенсификации теплообмена за счет теплопроводности и конвективного теплообмена, холодопроизводительность одного термосифона составляет 0,3 кВт. Лёд на испарителях в этой секции может образовываться только в часы особо низких температур морозного воздуха (-25...-30°C). Но в часы доения этот лед тает.

Значение (0,3 кВт) не является величиной постоянной. Оно может варьировать и по часам суток, и по дням недели, месяца. Но как средневзвешенное значение его можно принять для расчетов.

Среднесуточное количество теплоты поступающей в оперативную секцию в осенне-зимне-весенний период (170 суток) $Q_{ср.}$ равно

$$Q_{ср} = \frac{nY\beta}{365} C(t_k - t_{\text{н}}), \quad (1)$$

где n – число коров на ферме, гол;

Y – годовая продуктивность коров, кг/(гол.·год);

β_1 – коэффициент годовой неравномерности надоев;

C – удельная теплоемкость молока, кДж/(кг·град.);
 t_n, t_k – соответственно начальная и конечная температура воды, прошедшей через охладитель молока и поступающей в бассейн

$$Q_{cp} = \frac{200 \cdot 4000 \cdot 1,35}{365} \cdot 3,93 \cdot (30 - t_k) = 290712 \frac{\text{кДж}}{\text{сут}}.$$

Среднесуточное количество теплоты, отводимое из оперативной секции одним термосифоном:

$$q_{cp} = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} \cdot 24 \cdot 3600 \frac{\text{с}}{\text{ч}} = 25920 \frac{\text{кДж}}{\text{сут}}.$$

Количество термосифонов, необходимых для оперативной секции определим по формуле

$$N = \frac{Q_{cp}}{q_{cp}} = \frac{290712}{25920} = 1,2 \text{ шт.}$$

Принимаем 12 термосифонов.

С наступлением весенне-летне-осеннего периода – со 2-й декады апреля на 2-ю декаду октября (включительно) – охлаждение молока ведется только ледяной водой из секции летнего резерва за счет таяния льда, так как термосифоны не работают. Но, кстати, они тепло в обратную сторону не перекачивают. Общее количество холода, которое должно быть накоплено в секции летнего резерва: Q_{sum} равно

$$Q_{sum} = \frac{m \cdot \beta}{365} \cdot D \cdot C(t_u - t_k) \cdot \eta \quad (2)$$

где β_2 – коэффициент неравномерности надоев, 1,35;

D – длительность весенне-летне-осеннего периода, 195 сут;

η – коэффициент, учитывающий потери холода в этот период, 1,1,

$$Q_{sum} = \frac{200 \cdot 4000 \cdot 1,35}{365} \cdot 195 \cdot 3,93 \cdot (30 - t_k) \cdot 1,1 = 2357794 \text{ кДж.}$$

Количество холода, накапливаемого за 90 сут одним термосифоном в секции летнего резерва при его мощности 0,116 кВт:

$$q' = 0,116 \cdot 24 \cdot 90 \cdot 3600 = 902016 \text{ кДж,}$$

где 90 сут – длительность морозного периода (декабрь, январь, февраль).

Количество термосифонов, потребное для секции летнего резерва

$$N' = \frac{2357794}{902016} = 2,6 \text{ шт.}$$

Принимаем 70 термосифонов.

Суммарное количество термосифонов в двухсекционном аккумуляторе холода для молочной фермы 200 коров с годовым удоем 4000 кг/гол. и охлаждением молока с 36 до 6°C равно

$$N_{обем} = 70 + 12 = 82 \text{ термосифона.}$$

Это на 38 термосифонов меньше, чем, например, в односекционном аккумуляторе природного холода.

Заключение. Использование аккумулятора природного холода на фермах позволит обеспечить процесс охлаждения молока в течение всего года без использования затрат электроэнергии. Его секционирование даст возможность увеличить длительность использования термосифонов, что приведет к сокращению их потребного количества и уменьшению объема льдохранилища.

Библиографический список

1. Бобков, В. А. Производство и применение льда. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 230 с.
2. Босин, И. Н. Охлаждение молока на комплексах и фермах. – М. : Колос, 1993. – 46 с.
3. Зверев, С. С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – №10. – С. 103-108.
4. Квашенников, В. И. К вопросу использования ледогенераторов на молочных фермах / В. И. Квашенников, А. П. Козловцев, Г. С. Коровин, В. А. Шахов. – М. : Механизация и электрификация, 2014. – №2. – С. 30.
5. Калнинь, И. М. Актуальные направления развития техники низких температур [Электронный ресурс]. – 2007. – URL: <http://donholod.dn.ua/index/pub/aktnap.html> (дата обращения: 28.05.2016).
6. Квашенников, В. И. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах / В. И. Квашенников, А. П. Козловцев, В. А. Шахов [и др.]. – М. : Научное обозрение, 2015. – С. 17-22.
7. Васильев, Е. Н. Динамика замораживания грунта с помощью тепловых труб / Е. Н. Васильев, В. А. Деревянко, А. В. Макуха // Труды Красноярского государственного университета. – 2005. – С. 233.