

УДК 637.117

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСТАНОВОК СЕЗОННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

*Л. Ф. ВОЛКОНОВИЧ¹, А. Л. ВОЛКОНОВИЧ², О. Г. СТЁПКА¹,
В. Е. СЛИПЕНКИ¹, А. Г. ПОПА¹, А. С. ДАЙКУ¹, И. И. КИРИЯК²*
Государственный Аграрный Университет Молдовы¹
Академия Транспорта, Информатики и Коммуникаций²

Abstract. This paper presents the mathematical model and results of the state and field testing of milk-cooling devices using natural cold. Constructive and technological parameters of the milk cooling devices are provided. It was proved that this milk cooling equipment ensures the technological process of milk cooling during the cold season, has a simple design, is ecological and is an energy efficient system.

Key words: Milk cooling; Devices; Natural cold; Mathematical model; Constructive parameters; Energy efficiency.

Реферат. В данной статье представлены математическая модель и результаты государственных и производственных испытаний установок естественного холода для охлаждения молока. Обоснованы конструктивные и технологические параметры установок естественного холода. Показано, что установка естественного холода выполняет технологический процесс охлаждения молока в холодное время года, проста по конструкции, является экологически чистой и даёт существенную экономию электроэнергии.

Ключевые слова: Охлаждение молока; Установки; Естественный холод; Математическая модель; Конструктивные параметры; Экономия электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

Методология применения естественного холода для охлаждения молока была разработана в работах зарубежных и наших ученых (Волконович, Л., Сырги, К. 2002; Кушнир, М.Г. 2000). Но в этих и других работах не ставится проблема оптимизации параметров установок естественного холода УЕХ (аккумуляторов с водой) для охлаждения молока, решение которой позволило бы обеспечить минимизацию объема аккумулятора с водой, затрат материала на их изготовление, а также увеличения продолжительности применения УЕХ сезонного действия. Поэтому проблема оптимизации параметров УЕХ сезонного действия является достаточно актуальной. Производственные испытания установок естественного холода были проведены на трёх молочно-товарных фермах с. Кэинарий-Вежь Сорокского района, с. Марамоновка Дондюшанского района и с. Выхватинцы Рыбницкого района, а государственные испытания были проведены на молочно-товарной ферме с. Марамоновка Дондюшанского района (Волконович, Л., Черней, М., Бабан, О. и др. 2007; Волконович, Л., Кушнир, М., Кирияк, И., Звонкий, В. 2013).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом данных исследований является усовершенствованная установка естественного холода сезонного действия для охлаждения молока. Рассматриваемая модель установки естественного холода сезонного действия для охлаждения молока приводится на рисунке 1.

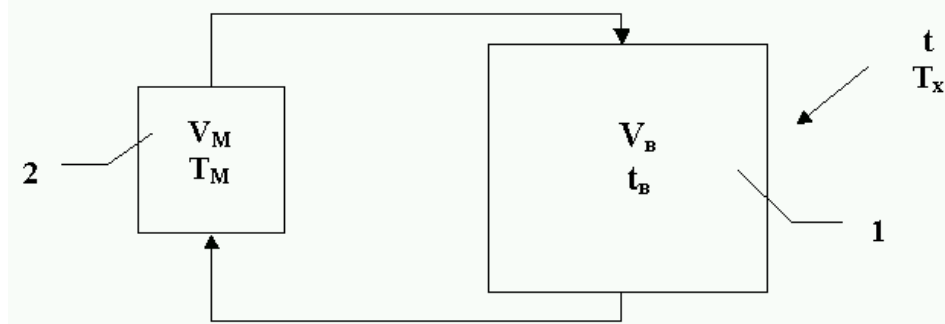


Рисунок 1. Модель установки естественного холода для охлаждения молока сезонного действия

1 – аккумулятор с водой; 2 – охладитель молока; V_B, V_M – соответственно объемы воды и молока, m^3 ; t_B, t_M – соответственно температуры воды и молока, $^{\circ}C$;
 t – температура атмосферного воздуха, $^{\circ}C$; T_x – продолжительность холодного периода года, сутки.

Целевая функция рассматриваемой установки выражается в виде системы условий:

$$\begin{cases} V_B \rightarrow \min; \\ eZ_M \rightarrow \min; \\ W_{эл.} \rightarrow \min; \\ T_{исп.уст.} \rightarrow \max; \end{cases} \quad (1)$$

где: V_B – объем аккумулятора с водой, m^3 ; eZ_M – суммарные материальные затраты на изготовление установки, m^2 ; $W_{эл.}$ – удельные затраты электроэнергии на охлаждение молока, kWh/t ; $T_{исп.уст.}$ – продолжительность использования установки в холодное время года, суток.

Целевая функция усовершенствованной установки естественного холода сезонного действия включает: уменьшение объема аккумулятора с водой, обоснование режимов работы установки, которые могут обеспечить снижение материальных затрат на её изготовление, уменьшение удельных затрат электроэнергии на охлаждение молока, увеличение продолжительности применения УЕХ в течение года.

Аналитические исследования выполнены на основе составленной математической модели усовершенствованной установки естественного холода сезонного действия с применением ЭВМ, а также на основе разработанных ранее методик обоснования параметров и математических моделей системы естественного холода (Кушнир, М.Г. 2000).

Экспериментальные исследования установок естественного холода сезонного действия для охлаждения молока были выполнены на действующих линиях первичной обработки молока различных ферм Республики Молдова, путем непосредственных замеров и сравнения с данными теоретических исследований.

Испытания проведены согласно РД 10.28.1-90. Показатели качества выполнения технологического процесса определены согласно типовой методики М 29.054-87. Показатели эксплуатационно-технологической оценки определены согласно ГОСТ 24055-88 и ГОСТ 24057-88. Показатели надёжности определены согласно РД 10.2.1-91, РД 10.2.8-91, РД 10.2.6-91, ОСТ 70.2.9-77. Энергетические показатели также определены согласно РД 10.2.3-90.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На основании совершенствования режимов работы УЕХ сезонного действия в линиях с проточными и емкостными охладителями, исследования режимов охлаждения воды в перерывах между дойками, обоснования конструктивных параметров УЕХ, исследования путей увеличения продолжительности использования УЕХ, а также определения продолжительности использования УЕХ сезонного действия на территории Республики Молдова, была разработана математическая модель усовершенствованной УЕХ сезонного действия:

В линиях с проточными охладителями молока.

а) для вертикальных перегородок (Рис. 2):

$$K_{исп} = 0.75 \text{ для } m=3 \quad (2)$$

$$V_B/V_M = 4 \quad (3)$$

где: $K_{исп}$ – коэффициент использования аккумулятора с водой; m – число перегородок.

б) для горизонтальных перегородок (Рис. 3):

$$\hat{E}_{сн} = 0.9 \dots 0.97 \text{ аëү } m=1 \quad (4)$$

$$V_a/V_i = 3.1 \dots 3.3 \quad (5)$$

Режим охлаждения воды в перерывах между дойками:

$$S_{исп}/V_B e'' 0.5 \text{ для трехразовой дойки} \quad (6)$$

$$S_{исп}/V_B e'' 0.25 \text{ для двухразовой дойки} \quad (7)$$

где: $S_{исп}$ – площадь поверхности испарения аккумулятора с водой, m^2 .

В линиях с емкостными охладителями (Рис. 4):

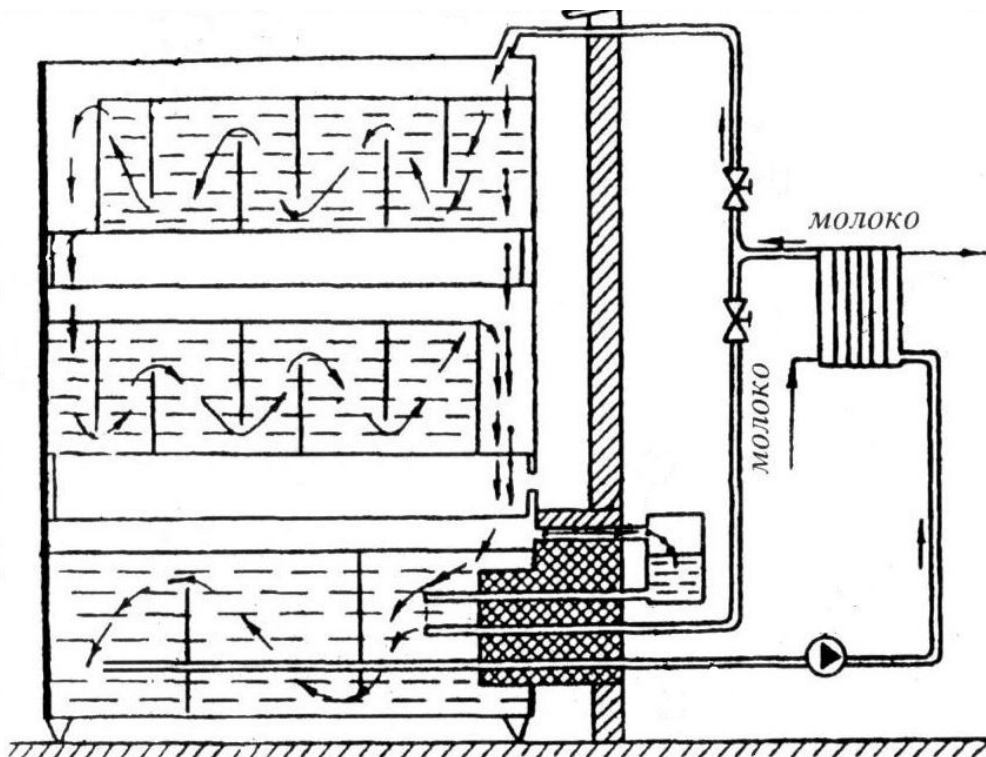


Рисунок 2. Аккумулятор с водой

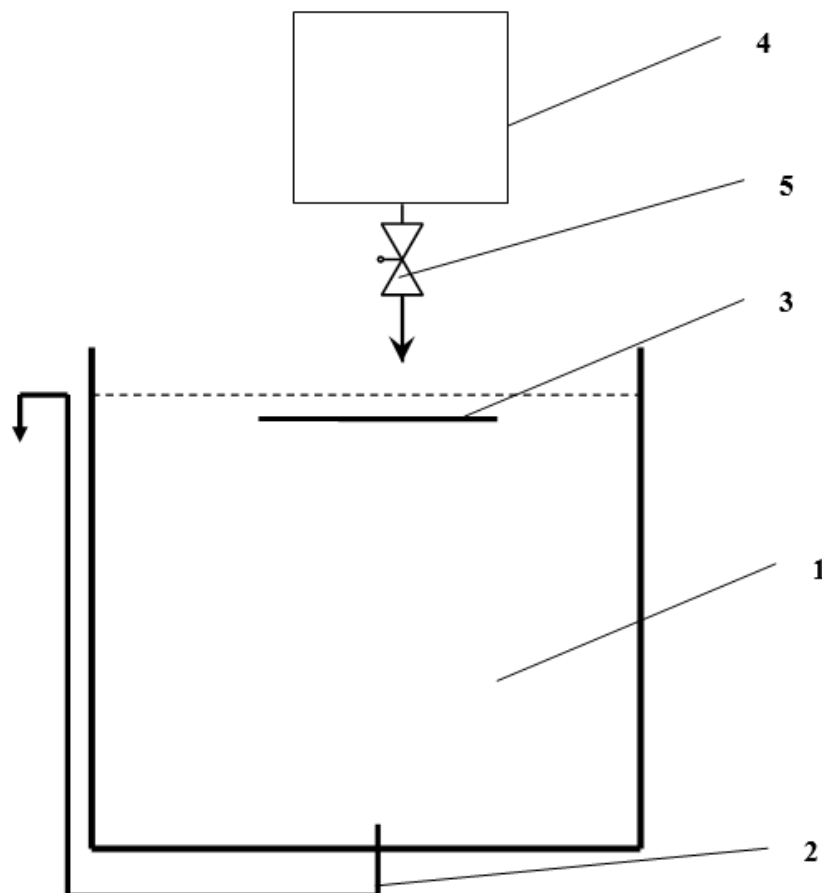


Рисунок 3. Опытный образец аккумулятора с водой с горизонтальной перегородкой
1 - емкость для воды из органического стекла; 2 - колено для отвода охлажденной воды;
3 - горизонтальная перегородка; 4 - емкость с теплой подкрашенной водой; 5 – вентиль.

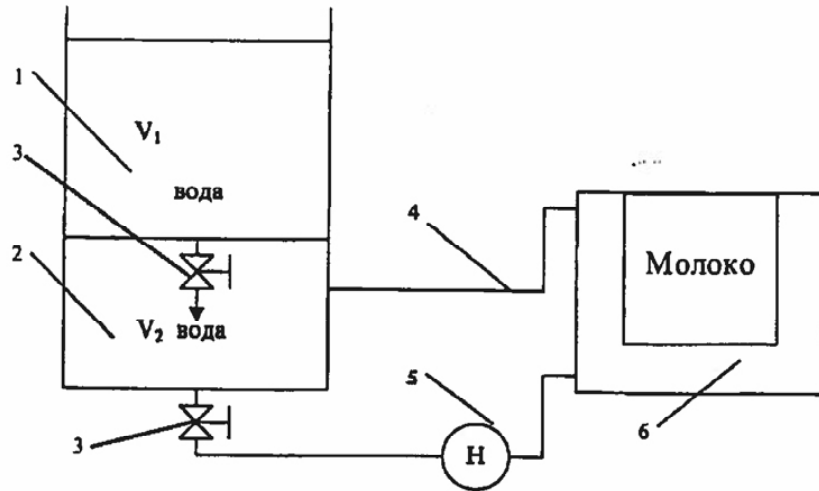


Рисунок 4. Принципиальная схема охлаждения молока в емкостных охладителях от аккумулятора с водой. 1 - верхняя емкость аккумулятора; 2 - нижняя емкость аккумулятора; 3 - вентили; 4 - трубопровод; 5 - водяной насос; 6 - емкостной охладитель; V_1 и V_2 - соответственно объем верхней и нижней емкости

-кратность объемов воды и молока практически минимальны и равны:

$$V_B/V_M = 3.4 \quad (8)$$

для $N=2$ и

$$V_2/V_1 = 1/6 \quad (9)$$

где: N - число секций аккумулятора с водой; V_1, V_2 - соответственно объемы верхней и нижней секций аккумулятора с водой, m^3 .

Режим охлаждения воды в перерывах между дойками:

$$S_{исп}/V_B e^{N-1} \text{ для трехразовой дойки} \quad (10)$$

$$S_{исп}/V_B e^{N-1} \approx 0.375 \text{ для двухразовой дойки} \quad (11)$$

-оптимальные конструктивные параметры по минимуму затрат материала:

$$\begin{cases} h_{OPT} = \sqrt[3]{\frac{V}{4}} \\ S_{OPT} = \sqrt[3]{V \cdot 4} \end{cases} \quad (12), (13)$$

где: h_{opt} - оптимальная высота аккумулятора с водой, м; S_{opt} - оптимальная поверхность испарения аккумулятора с водой, m^2 .

-увеличение продолжительности использования УЕХ при распылении воды:

$$t_{B_{o.c}} = t \quad (14)$$

$$T \approx 13 \quad (15)$$

где: $t_{o.c}$ - температура окружающей среды, $^{\circ}C$; T - увеличение продолжительности использования аккумулятора с водой, суток.

-зависимости продолжительности охлаждения при применении дискового распылителя от температуры охлаждаемой воды в УЕХ при различных расходах:

для $n = \text{const} = 2760$ об/мин

$$T = -4 \times \ln(5.43^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.017 \text{ л/с}$$

$$T = -4 \times \ln(7.79^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.026 \text{ л/с}$$

$$T = -4 \times \ln(9.99^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.05 \text{ л/с}$$

$$T = -4 \times \ln(11.92^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.076 \text{ л/с}$$

$$T = -4 \times \ln(18.8^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.11 \text{ л/с}$$

$$T = -4 \times \ln(24.66^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } Q = 0.33 \text{ л/с} \quad (16)$$

и для $Q = \text{const} = 0.017$ л/с

$$T = -4 \times \ln(5.88^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } n = 1400 \text{ об/мин}$$

$$T = -4 \times \ln(7.07^{t_{o.c}} + 1) + 29 \quad \text{при } n = 2100 \text{ об/мин}$$

$$\begin{aligned} T &= -4 \times \ln(8.52 t_{o.c.} + 1) + 29 && \text{при } n = 2850 \text{ об/мин} \\ T &= -4 \times \ln(10.24 t_{o.c.} + 1) + 29 && \text{при } n = 3500 \text{ об/мин} \end{aligned} \quad (17)$$

где: n – скорость вращения дискового распылителя, об/мин; Q – расход воды дискового распылителя, л/с.

- продолжительность использования УЕХ в северных районах Республики Молдова

$$T = 8760(0.32 + 0.027 \times t_{o.c.} + 0.0006 \times t_{o.c.}^2) \quad (18)$$

Исследование режимов работы усовершенствованной УЕХ сезонного действия в линиях с проточными охладителями показали, что для обеспечения режима вытеснения воды целесообразнее применять УЕХ с горизонтальной перегородкой. В этом случае $K_{исп}$ находится в пределах 3,1 - 3,3. В случае применения вертикальных перегородок для обеспечения $K_{исп} = 0,75$ необходимо использовать 3-и перегородки, причем кратность расхода воды и молока увеличивается до 4.

На основе исследований усовершенствованной УЕХ в линиях с емкостными охладителями было установлено, что практически получаем минимальные затраты материала при делении аккумулятора на две секции при числе циклов охлаждения равном 7, причем каждый цикл завершается выравниваем температур воды и молока. Нами было установлено, что затраты материала в предлагаемом варианте уменьшаются от 1.2 до 2.25 раза.

Для обеспечения режима охлаждения воды в перерывах между дойками в линиях как с проточными, так и с емкостными охладителями для трехразовой дойки требуется обеспечить соотношение между горизонтальной поверхностью $S_{исп}$ аккумулятора и его объемом V соответственно равной или более 0,5 и 1;

для двухразовой дойки указанные выше соотношения соответственно должны быть равными или более 0,25 и 0,375.

Для увеличения продолжительности использования УЕХ сезонного действия целесообразнее было бы обеспечить распыление воды и теплоизоляцию аккумуляторов в осенний и весенний периоды.

Мы установили, что:

- за счет распыления воды и обеспечения - выравнивания температур воды и окружающего воздуха с помощью дисковых распылителей, продолжительность использования усовершенствованной УЕХ сезонного действия увеличивается на 13-14 суток.

- использование дисковых распылителей позволяет более чем в 10 раз уменьшить продолжительность охлаждения воды T до температуры окружающего воздуха по сравнению с естественной характеристикой, причем на уменьшении существенно влияют, как производительность Q , так и скорость вращения n дискового распылителя.

Экспериментальные исследования показали, что:

- изменение производительности Q дискового распылителя с 0,017 (л/с) до 0,11 (л/с) при $n=2760$ (об/мин) сокращается до 2.5 раза;

- изменение скорости вращения n дискового распылителя с 1400 (об/мин) до 3500 (об/мин) при $Q=0.017$ (л/с) позволяет сократить до 1.8 раза.

Также, установлено, что теплоизоляцию усовершенствованной УЕХ наиболее целесообразно применять на фермах с 2-ух разовой дойкой. В отличии от ферм с 3-х разовой дойкой, продолжительность применения УЕХ сезонного действия увеличивается с 3 - 6 дней до 13 - 21 дней.

Основные результаты испытаний (табл. 1 - 7) приводятся ниже.

Зоотехнические показатели при лабораторно-хозяйственных испытаниях:

1. Время выхода машины на рабочий режим:

- a. установка сезонная включается в работу непосредственно с началом охлаждения молока;
- b. серийная холодильная установка за 2 часа до начала охлаждения;

2. Характеристика молока после охлаждения:

- a. температура 3 °С;
- b. сорт 1 «охлажденное»;

Таблица 1. Результаты эксплуатационно-технологической оценки

Показатели	Значение показателей	
	по данным испытаний	
	испытываемая установка	серийная холодильная установка
1. Условия работы:		
температура окружающего воздуха, °С	-2	18,5...25
температура охлаждаемого молока, °С	18...19	18...19
температура хладоносителя на входе, °С	0,5	2...3
2. Эксплуатационные показатели:		
производительность, т. за 1 час времени:		
основного	3,31	0,27
сменного	1,32	0,23
эксплуатационного	0,25	0,13
удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	0,3	29,7
число обслуживающего персонала, чел	1	1
3. Эксплуатационно-технологические показатели:		
технологического обслуживания	0,47	0,91
надёжности технологического процесса	1	1
использования сменного времени	0,4	0,84
использования эксплуатационного времени	0,39	0,84

Таблица 2. Баланс времени работы установки за нормативную продолжительность смены

Показатели времени	Значение показателей	
	испытываемая установка	
	ч	%
Время основной работы	0,54	66,66
Время технологического обслуживания	0,2	24,69
Время устранения технологических отказов	0	0
Время подготовки установки к работе	0,02	2,47
Время ежесменного обслуживания	0,05	6,18
Сменное время	0,81	100
Время устранения технических отказов	0,015	-
Эксплуатационное время	0,96	-

Таблица 3. Показатели надёжности

Показатели	Значение показателей по данным испытаний
Условия испытаний:	
температура атмосферного воздуха, °С	≤4
влажность воздуха в молочном блоке, %	52
температура молока, поступающего на охлаждение, °С	18...19
температура хладоносителя, °С	0,5
Режим работы:	
напряжение питания, В	380
количество хладоносителя, м ³	6
Трудоёмкость ежесменного ТО, чел·ч	0,05
Оперативная трудоёмкость ТО, чел·ч	0,045
Коэффициент готовности:	
по оперативному времени	0,99
с учётом организационного времени	0,98
Трудоёмкость постановки установки на хранение, чел·ч	0,5

Таблица 4. Показатели сравнительной экономической эффективности

Наименование показателей	Значение показателей	
	по проекту	по данным испытаний
Экономия электроэнергии на 1 т молока, кВт·ч	снижение затрат электроэнергии в 5 – 7 раз	29,4
Экономия труда на 1 т молока, чел·ч	нет данных	2,0

Таблица 5. Показатели безопасности и эргономичности конструкции установки для охлаждения молока

Показатели	Значение показателей	
	по НТД	по испытываемому оборудованию
1. Удобство выполнения технического обслуживания	удобно	удобно
2. Удобство выполнения технологического обслуживания	удобно	удобно
3. Шум на рабочем месте оператора: уровень шума, дБА	не более 80	78
4. Микроклиматические условия при наружной температуре воздуха минус 2 °С: температура воздуха, °С	не менее 14	16
относительная влажность, %	не более 60	52
скорость движения воздуха, м/с	не более 1,5	0,33
5. Силы сопротивления перемещению органов управления, Н	не более 5	4,5
6. Электробезопасность	обеспечена	обеспечена

Таблица 6. Показатели технического уровня

Показатели	Значение показателей	
	по проекту	по данным испытаний
Производительность за 1 час основного времени, т.	нет данных	3,31
Удельные энергозатраты, кВт·ч/т.	-“-	0,3
Коэффициент загрузки электродвигателя насоса хладоносителя	-“-	0,23
Основные показатели качества выполнения технологического процесса:		
температура молока после охлаждения, °С	до 6	3
Потребляемая мощность, кВт	-“-	0,18
Габаритные размеры установки, мм:		
длина	-“-	2560
ширина	-“-	2535
высота	-“-	3930
Габаритные размеры резервуара, мм:		
длина	-“-	2480
ширина	-“-	2480
высота	-“-	1200
Ёмкость одного резервуара, м ³	-“-	6

Полученные данные свидетельствуют, что экономия электроэнергии составляет 29,4 кВт·ч/т (табл. 1, 7), а затрат труда – 2 чел·ч/т (табл. 4).

Коэффициент готовности установки достаточно высок и составил по оперативному времени – 0,99, а с учётом организационного времени – 0,98 (табл. 3).

Преимущества установки естественного холода для охлаждения молока:

- возможность исключить в холодное время года из линий первичной обработки молока холодильные установки, что даёт значительную экономию электроэнергии.

- эргономичность (табл. 5) и простота конструкции, что даёт возможность изготавливать установки собственными силами хозяйств.

- является экологически чистой, так как исключает применение фреонов в холодное время года.

Таблица 7. Энергетические показатели установки

Режим охлаждения	Экспериментальные показатели							Расчётные показатели	
	температура воздуха, °С	температурные		мощность, кВт	время работы, ч	потреблённая электроэнергия, кВт·ч	масса охлаждаемого молока, т.	удельная энергоёмкость, кВт·ч/т	коэффициент мощности установки
		начальная	конечная						
1. Охлаждение водой (осенне-зимний период)	-2	18	3	1,0	0,18	0,18	0,6	0,3	0,23
2. Охлаждение одним холодильником (осенне-зимний период)	-2	18	3	8,15	2,18	17,8	0,6	29,7	0,57
3. Охлаждение четырьмя холодильниками (летний период)	25	32	5	32,0	2,93	93,8	1,58	59,4	0,64

ВЫВОДЫ

Составленная математическая модель усовершенствованной УЕХ сезонного действия позволяет оптимизировать параметры установки и определить продолжительность ее использования на территории Республики Молдова.

Установлено, что:

- наиболее эффективным является режим вытеснения воды с горизонтальной перегородкой, позволяющий уменьшить кратность объема воды и молока на 17 - 23%.

- продолжительность использования усовершенствованной УЕХ на севере Республики Молдовы составляет около 160 суток.

Данные производственных и государственных испытаний (Табл. 1 - 7) показали, что установка естественного холода выполняет технологический процесс охлаждения молока в холодное время года, достаточно проста по конструкции, является экологически чистой и даёт существенную экономию электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВОЛКОНОВИЧ, Л., КУШНИР, М., КИРИЯК, И., ЗВОНКИЙ, В. (2013). Пути построения ресурсосберегающих автоматизированных технологий. Доклады итоговой научной конференции инженерно-технического института за 2013. г. Тирасполь, 16-26 января с. 158-161.

2. ВОЛКОНОВИЧ, Л., СЫРГИ, К. (2002). Энергосберегающие, экологические системы естественного холода для хранения пищевых продуктов. Кишинев. 334 с. ISBN 9975-62-078-7.

3. ВОЛКОНОВИЧ, Л., ЧЕРНЕЙ, М., БАБАН, О. и др. (2007). Автоматизация ресурсосберегающих технологических процессов в сельском хозяйстве. Кишинев. 341 с. ISBN 978-9975-62-177-9.

4. КУШНИР, М.Г. (2000). Совершенствование режимов работы установок естественного холода сезонного действия в линиях с ёмкостными охладителями. In: Prezent și viitor în domeniul mecanizării și electrificării agriculturii: simp. șt. jubiliar cu participare intern. Chișinău, 19-20 oct. 2000: lucrări șt., pp. 316-319.

Data prezentării articolului: 20.03.2016

Data acceptării articolului: 21.05.2016