

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ МОЛОКА

**А. В. КИТУН**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: ktmg@batu.edu.by*

**В. И. ПЕРЕДНЯ**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220049*

**П. Ю. КРУПЕНИН**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com*

**В. Г. ФИЛАТОВ**

*ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»,  
г. Бобруйск, Республика Беларусь, 213822*

*(Поступила в редакцию 03.03.2022)*

*Для охлаждения и хранения молока на животноводческих фермах и комплексах используются холодильные установки различных конструкций. Установки емкостного типа представляют собой резервуары с двойными стенками из нержавеющей стали, внутри которых находится охлаждаемое молоко. Снаружи резервуар имеет герметичную обшивку и термоизолирующую рубашку. Между емкостью и обшивкой перетекает хладагент, при использовании технологической схемы с непосредственным охлаждением молока, или хладоноситель в виде ледяной воды или раствора гликоля. Посредством теплообмена через металлическую стенку хладагент или хладоноситель отбирает тепло у молока, которое, с целью равномерного охлаждения, перемешивается в емкости специальной мешалкой. Ввиду различий в конструктивно-технологических схемах применяемых холодильных машин при формировании линии охлаждения и хранения молока на животноводческих фермах и комплексах важно выбрать оптимальный тип и параметры холодильного агрегата.*

*В статье рассмотрены особенности конструктивно-технологических схем установок для охлаждения молока KRYOS (WestfaliaSurge), Г6-ОРМ-2500, УНОМ-1200. Проанализированы технические характеристики резервуаров-охладителей молока и холодильных агрегатов, на основании чего установлено, что вследствие применения широкой номенклатуры оборудования для охлаждения и хранения молока подбор оптимальной модели должен осуществляться на основании технологических расчетов. Предложена методика расчета параметров линии охлаждения и промежуточного хранения молока на ферме, учитывающая продуктивность животных, технологический режим доения коров и график отправки молока с фермы на перерабатывающее предприятие. Предлагаемая методика может быть использована для оптимизации технологической линии охлаждения и хранения молока на ферме посредством обоснования рациональной вместимости резервуара, в результате чего танк-охладитель будет использоваться с наибольшей эффективностью.*

**Ключевые слова:** *охлаждение молока, техническое обеспечение процессов в животноводстве, резервуар-охладитель молока, холодильная установка, оптимизация, методика.*

*For cooling and storage of milk on livestock farms and complexes, refrigeration units of various designs are used. Tank-type units are stainless steel double-walled tanks containing cooled milk. Outside, the tank has a sealed casing and a thermally insulating jacket. A refrigerant flows between the container and the casing, when using a technological scheme with direct cooling of milk, or a refrigerant in the form of ice water or a glycol solution. By means of heat exchange through the metal wall, the refrigerant or coolant removes heat from the milk, which, for the purpose of uniform cooling, is mixed in a container with a special mixer. Due to the differences in the design and technological schemes of the refrigeration machines used in the formation of the line for cooling and storing milk on livestock farms and complexes, it is important to choose the optimal type and parameters of the refrigeration unit.*

*The article discusses the features of structural and technological schemes for milk cooling plants KRYOS (WestfaliaSurge), G6-ORM-2500, UNOM-1200. The technical characteristics of milk cooling tanks and refrigeration units were analyzed, on the basis of which it was established that due to the use of a wide range of equipment for cooling and storing milk, the selection of the optimal model should be carried out on the basis of technological calculations. A method for calculating the parameters of the cooling line and intermediate storage of milk on a farm is proposed, taking into account the productivity of animals, the technological mode of milking cows and the schedule for sending milk from the farm to the processing plant. The proposed method can be used to optimize the milk cooling and storage process line on a farm by justifying the rational capacity of the tank, as a result of which the cooling tank will be used with the greatest efficiency.*

**Key words:** *milk cooling, technical support of processes in animal husbandry, milk cooling tank, refrigeration unit, optimization, methodology.*

### **Введение**

Предприятия животноводческого комплекса представляют собой сложную систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных элементов, между которыми установлены функциональные связи и

отношения. До недавнего времени производители животноводческой продукции не придавали серьезного значения созданию специальных систем, позволяющих оптимизировать управление технологическими процессами на предприятии, в т. ч. процессом первичной обработки молока, включающем такие основные операции, как очистка, охлаждение и промежуточное хранение молока.

Получение в условиях хозяйств молока наивысшего сорта является одним из наиболее важных условий рентабельности его производства. Отсюда понятно, насколько важна его первичная обработка в условиях хозяйств.

Для охлаждения и хранения молока на животноводческих фермах и комплексах используются холодильные установки. Они представляют собой емкости с двойными стенками из нержавеющей стали, внутри которых находится охлаждаемое молоко. Снаружи емкости имеют герметичную обшивку и термоизолирующую рубашку. Между емкостью и обшивкой перетекает хладагент, при использовании технологической схемы с непосредственным охлаждением молока, или хладоноситель в виде ледяной воды или раствора гликоля. Посредством теплообмена через металлическую стенку хладагент или хладоноситель отбирает тепло у молока, которое перемешивается в емкости специальной мешалкой [1].

Ввиду различий в конструктивно-технологических схемах применяемых холодильных машин при формировании линии охлаждения и хранения молока на животноводческих фермах и комплексах важно выбрать оптимальный тип и параметры холодильного агрегата [3, 4].

### Основная часть

Резервуары-охладители молока – наиболее совершенное технологическое оборудование молочных ферм, обеспечивающее глубокое охлаждение молока и его хранение в охлажденном виде в условиях ферм. Данное оборудование подразделяется на резервуары с автономной системой охлаждения и непосредственным охлаждением. Резервуары-термосы в отличие от резервуаров-охладителей не имеют водяных рубашек, обеспечивающих циркуляцию охлаждающей жидкости. Они имеют только термоизоляцию, обеспечивающую хранение в них охлажденного продукта.

Технологический процесс резервуара-охладителя молока состоит из следующих стадий: заполнение молочной ванны молоком, охлаждение молока с перемешиванием, хранение молока, опорожнение молочной ванны, промывка и дезинфекция. Управление технологическими процессами может осуществляться в автоматическом и ручном режимах при помощи распределительного шкафа и ящика управления. Рассмотрим в качестве примера общее устройство некоторых моделей холодильных машин. Резервуар-охладитель KRYOS (WestfaliaSurge) (рис. 1) предназначен для сбора, охлаждения молока с  $+35$  до  $+4$  °С и его последующего хранения при температуре  $+4...+6$  °С до передачи на перерабатывающее предприятие.

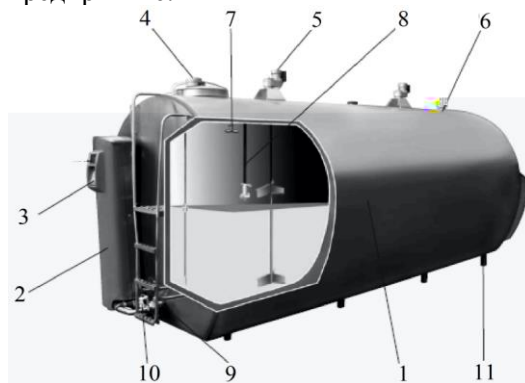


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема резервуара-охладителя молока KRYOS:

- 1 – резервуар; 2 – устройство управления и промывки; 3 – модуль управления с электронным индикатором уровня наполнения; 4 – заливная горловина с крышкой; 5 – двигатель перемешивающего механизма; 6 – вентиляционное отверстие; 7 – разбрызгивающая головка; 8 – самовращающаяся разбрызгивающая головка; 9 – сливной клапан; 10 – слив промывочной воды; 11 – регулируемые опоры

Резервуар-охладитель молока Г6-ОРМ-2500 (рис. 2) имеет термоизоляцию, обеспечивающую постоянство температуры (повышение температуры холодного молока при отключении электричества составляет не более 1 °С за 4 часа). Холодильные агрегаты, устанавливаемые на резервуарах-охладителях молока, работают на хладагенте R22 (фреон). Резервуар-охладитель молока имеет автоматическую систему промывки после опорожнения от молока.



Рис. 2. Составные элементы резервуара-охладителя молока Г6-ОРМ-2500

Установка охлаждения молока УНОМ-1200 (рис. 3) открытого типа, работающая по принципам непосредственного и промежуточного охлаждения. Установка является стационарной и предназначена для сбора, интенсивного охлаждения и хранения молока при пониженной температуре на молочных фермах и молокоперерабатывающих предприятиях при температуре окружающего воздуха от +5 до +40 °С. Установка представляет собой емкость с двустенной оболочкой, межстенное пространство которой заполнено высокоплотным пенополиуретаном.

По сравнению с другими охлаждающими системами, принцип непосредственного (прямого) охлаждения обеспечивает высокую эффективность охлаждающей технологии в сочетании с минимальным потреблением электрической энергии.

Установки непосредственного охлаждения как открытого, так и закрытого типов, допускают смешивание молока различных партий, т. е. в резервуар, уже частично заполненный охлажденным молоком, может подаваться парное молоко, получаемое во время второй дойки. Критерием, ограничивающим смешивание молока различных партий, является продолжительность охлаждения до +4 °С молока при второй дойке, которая не должна превышать 1 часа. Грамотный подбор вместимости охладителя молока и холодопроизводительности его компрессорной установки позволяет заполнять молочный танк до полной загрузки и соответственно снижать затраты на транспортировку молока до молокоперерабатывающих предприятий [5].



Рис. 3. Установка охлаждения молока УНОМ-1200

Техническая характеристика охладителей приведена в табл. 1, холодильных установок – в табл. 2.

Таблица 1. Технические характеристики резервуаров-охладителей молока

Марка	Вместимость, л	Время охлаждения при полном заполнении, ч	Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Наличие холодильного агрегата
РПО-1,6	1600	3	1,28	400	нет
РПО-2,5	2500	3	1,28	635	нет
ОМ-3-300	320	2	1,8	180	есть
ОМ-2-250	400	2	2,3	550	есть
ТОМ-2А	1800	2,5	8,8	1560	есть
МКА2000Л-2А	2000	3	5,85	620	есть

Таблица 2. Технические характеристики холодильных установок

Показатели	ТХУ-14	ТХУ-23	МВТ-20-10	АВ-30
Холодопроизводительность, кВт	16,8	23	20,35	39
Теплопроизводительность, кВт	21,5	30	–	–
Потребляемая мощность, кВт	7,5	10	9,35	22
Масса, кг	550	805	770	1560

Как видно из представленного в таблицах материала, для охлаждения и хранения молока, применяется широкий ряд резервуаров-охладителей и холодильных установок. При формировании линии охлаждения и хранения молока на животноводческих фермах и комплексах важно выбрать агрегат, обеспечивающий рациональное выполнение указанного процесса [6]. Существует несколько аспектов, которые необходимо учитывать при выборе.

Выбор оборудования начинают с определения общего количество молока, подлежащего охлаждению, по формуле:

$$m_{\Gamma} = m_{\text{ср}} \Pi_{\text{д}}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{ср}}$  – средний годовой удой фуражной коровы, кг/год;  $\Pi_{\text{д}}$  – поголовье коров на ферме, гол.

Тогда суточный удой молока составит:

$$m_{\text{с}}^{\text{max}} = \frac{m_{\Gamma} K_{\text{нг}} K_{\text{с}}}{365}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{нг}}$  – коэффициент неравномерности удоя в течение года;  $K_{\text{с}}$  – коэффициент, учитывающий сухостойность коров.

Максимальный разовый удой (за одну дойку):

$$m_{\text{р}}^{\text{max}} = \frac{m_{\text{с}}^{\text{max}} K_{\text{нс}}}{\varphi}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{нс}}$  – коэффициент неравномерности удоя в течение суток;  $\varphi$  – число доек за день.

Холодильную установку выбирают по наибольшей суточной потребности (кДж) в холоде:

$$Q_{\text{x}} = m_{\text{с}} c_{\text{м}} (t_{\text{мн}} - t_{\text{мк}}), \quad (4)$$

где  $m_{\text{с}}$  – максимальный суточный надой молока, кг;  $c_{\text{м}}$  – удельная теплоемкость молока, кДж/(кг·°C);  $t_{\text{мн}}$  – начальная температура молока, °C;  $t_{\text{мк}}$  – температура охлажденного молока, °C.

Часовая загрузка (кг/ч) поточной линии для подбора оборудования по производительности определяется из соотношения:

$$m_{\text{ч}} = \frac{m_{\text{р}}^{\text{max}}}{T_{\text{o}}}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{o}}$  – время охлаждения молока, час; время охлаждения молока не должно превышать 3 часа [6].

Расчетная тепловая мощность (кДж/ч) холодильной машины:

$$W_{\text{x}} = \frac{Q_{\text{x}}}{T_{\text{o}}}. \quad (6)$$

Потребное количество резервуаров-охладителей рассчитывается по формуле:

$$n_{\text{o}} = \frac{m_{\text{с}}^{\text{max}}}{\rho_{\text{м}} V_{\text{o}} \psi}, \quad (7)$$

где  $\rho_{\text{м}}$  – плотность молока, кг/м<sup>3</sup>;  $\psi$  – степень заполнения емкости охладителя,  $\psi = 0,5 \dots 0,6$ ;  $V_{\text{o}}$  – полный объем молочной ванны охладителя, м<sup>3</sup>; объем ванны выбирают в зависимости от количества накапливаемого молока.

Для охлаждения и временного хранения молока в фермерских хозяйствах все большее применение находят танки-охладители молока вместимостью 1200, 1600 и 2000 л с автономными холодильными агрегатами.

Фактическая продолжительность процесса охлаждения молока, зависящая от мощности холодильной установки и конструктивных особенностей резервуара-охладителя (непосредственное охлаждение хладагентом или использование промежуточного хладоносителя, наличие аккумулятора холода и др.), определяется выражением:

$$\tau_m = \frac{c_m \frac{m_p^{\max}}{n_o} (t_{\text{мн}} - t_{\text{мк}}) - V_{\text{ак}} c_p \rho_p (t_{\text{рк}} + t_{\Delta} - t_{\text{мк}})}{W_x \eta_x}, \quad (8)$$

где  $V_{\text{ак}}$  – вместимость аккумулятора холода, м<sup>3</sup>;  $c_p$  – удельная теплоемкость рассола (хладоносителя), кДж/(кг·°С);  $\rho_p$  – плотность рассола, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\Delta}$  – минимальная разность температур молока и рассола, 4...10 °С;  $\eta_x$  – коэффициент полезного действия холодильной установки.

Параметры резервуара-охладителя должны быть подобраны таким образом, чтобы продолжительность охлаждения молока до температуры хранения не превышала 2 ч при заполнении резервуара первой партией молока и не более 1 ч при подаче в уже частично заполненный резервуар молока, получаемого во время второй дойки.

### **Заключение**

При выборе модели охладителя молока следует учитывать суточный объем производства молока и режим его отправки с фермы на перерабатывающее предприятие. Главной задачей оптимизации технологической линии охлаждения и хранения молока на ферме является расчет рациональной вместимости резервуара, при которой танк-охладитель будет использоваться с наибольшей эффективностью.

Применение на животноводческих фермах оборудования с оптимальными параметрами мощности холодильной установки и емкости резервуара-охладителя дает возможность не только получать молоко надлежащего качества, но и избежать лишних затрат труда и электрической энергии, что в конечном результате снижает эксплуатационные затраты и повышает энергоэффективность производства продукции животноводства в хозяйстве.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Рекомендации по техническому сервису доильного оборудования / М-во сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; подгот.: С. К. Карпович [и др.]; под общ. ред. С. К. Карповича. – Минск: БГАТУ, 2015. – 124 с.
3. Мишуров Н. П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: науч. изд. / Н. П. Мишуров. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 152 с.
4. Современные технологии производства продукции животноводства: рекомендации / В. К. Пестис и [др.]; под общ. ред. В. К. Пестиса, Е. А. Добрука. – Гродно: ГТАУ, 2011 – 462 с.
5. Китун, А. В. Проектирование мобильных транспортных потоков на животноводческом предприятии / А. В. Китун, П. Ю. Крупенин, А. А. Романович // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 2. – С. 184–190.
6. Республиканские нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения животноводческих объектов РНТП-1-2004: утв. Приказом М-ва сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, 15 октября 2004 г., № 446 // М-во сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь. – Минск, 2004. – 93 с.