

$c = 5$ [4]. При заблокированном резании тяговое усилие составляет 7926 Н. При деблокированном резании тяговое усилие без учета скорости движения снижается в 2,72 раза и составляет 2913 Н.

Таким образом, величина тягового усилия удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными А.Н. Зеленина при условии достижения в уплотненном ядре удельной потенциальной энергии разрушения.

Список литературы

1. Клёнин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Клёнин, В.А. Сакун. — М.: Колос, 1994. — 104 с.
2. Сельскохозяйственные машины и оборудование: энциклопедия / И.П. Ксеневиц [и др.]. — М.: Машиностроение, 1998. — С. 121.
3. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А.Н. Зеленин. — М.: Машиностроение, 1968. — 54 с.
4. Зеленин, А.Н. Лабораторный практикум по резанию грунтов / А.Н. Зеленин, Г.Н. Карасёв, Л.В. Красильников. — М.: Высшая школа, 1969. — 222 с.
5. Кушнарёв, А.С. К методике определения модулей упругости и сдвига почвы / А.С. Кушнарёв // Сборник научных трудов молодых ученых Мелитопольского института механизации сельского хозяйства. — Мелитополь, 1968. — С. 3.
6. Добротворский, И.В. Описание поведения почвы под нагрузкой с помощью метода конечных элементов / И.В. Добротворский // Науч.-тех. бюл. ВАСХНИЛ СО. — 1984. — Вып. 38. — С. 18–24.
7. Дарков, А.В. Строительная механика / А.В. Дарков, И.Н. Шапошников. — М.: Высшая школа, 1986. — 458 с.

УДК 621. 565:637.1

А.Б. Коршунов, канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АККУМУЛЯЦИОННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО ХОЛОДА

Сохранение качества и сокращение потерь молока является серьезной проблемой, в значительной мере определяющей эффективность работы всего АПК России. Эта задача должна быть решена на базе дальнейшего совершенствования холодильного оборудования и правильного сочетания источников искусственного и естественного холода.

Имеющееся на молочных фермах холодильное оборудование в большинстве случаев не отвечает современным требованиям [1]. Около 80 % находящегося в эксплуатации холодильного оборудования выработало свой ресурс и находится в предаварийном или аварийном состоянии. Положение усугубляется тем обстоятельством, что ремонтная база хозяйств, квалификация обслуживающего персонала, поставка запасных частей и комплектующих не отвечает требованиям эффективной эксплуатации холодильной техники. Интенсивность отказов возрастает, что приводит к увеличению потерь продукции от отказов холодильного оборудования. На ферме в 400 гол. при соответствующем уровне цен на коровье молоко потери могут достигать до 30 тыс. р. в сутки. Низкий уровень унификации холодильного оборудования затрудняет его обслуживание и ремонт. Затраты рабочего времени на эти операции составляют около 1000 чел.-ч в год. Это привело к тому, что в ряде случаев оно не отве-

чает требованиям Технического регламента на молоко и молочную продукцию (Федеральный закон от 12 июля 2008 г. № 88-ФЗ). Устойчивый рост стоимости электроэнергии и холодильного оборудования приводит к увеличению себестоимости молока и молочной продукции.

Повышение экономической эффективности холодильного оборудования и развитие бесфреоновых технологий производства холода имеет большое общегосударственное значение, так как позволит значительно сократить расход электроэнергии и повысить экологическую безопасность за счет сокращения неблагоприятного воздействия фреона на озоновый слой Земли.

Применение аккумуляционных комбинированных холодильных машин (АКХМ) позволит повысить надежность охлаждающих систем и экологическую безопасность, осуществить техническое перевооружение хозяйств АКХМ, выполненных на современной конструктивной и элементной базе, что позволит:

- сократить капитальные и эксплуатационные затраты на охлаждение молока путем снижения установленной мощности компрессоров, испарителей, вспомогательного оборудования и питающих трансформаторных подстанций;
- уменьшить затраты и сократить расход электроэнергии на выработку холода за счет ис-

пользования льготного ночного тарифа, более низкой температуры конденсации хладагента, в том числе в ночное время, применения природного холода наружного воздуха и грунтовой воды для охлаждения хладоносителя;

- повысить надежность и долговечность системы охлаждения за счет более равномерного режима работы;
- снизить пиковые нагрузки по расходу электроэнергии на охлаждение.

Использование всех перечисленных факторов достигается в процессе аккумулирования искусственного и естественного холода, осуществляемого в аккумуляторах холода водоледяного типа. Преимущество применения льда для аккумулирования холода объясняется его увеличенной по сравнению с водой аккумулирующей способностью.

Известно, что энергетическую эффективность выработки холода холодильной машиной принято оценивать холодильным коэффициентом, вычисляемым по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{N_{\text{ком}}}, \quad (1)$$

где Q_o — холодопроизводительность холодильной машины, кВт, кВт·ч; $N_{\text{ком}}$ — потребляемая компрессором холодильной машины электрическая мощность, кВт.

Энергетическая эффективность холодильных систем, работающих на фермах круглый год в различных температурных режимах и временных интервалах, может быть оценена средневзвешенным холодильным коэффициентом $\tilde{\varepsilon}$, рассчитываемым по формуле

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{L_i}}{n},$$

где Q_i , L_i — теплота, отводимая от охлаждаемого продукта и работа, которую нужно затратить при этом на i -м временном интервале, кВт·ч; n — количество временных интервалов.

Энергосберегающие комбинированные охлаждающие системы, работающие на животноводческих фермах и использующие искусственный и природный холод, могут работать в двух основных режимах:

$$\begin{aligned} A - T_{\text{сх2}} < \tilde{T}_{\text{нв}}; T_{\text{сх2}} < \tilde{T}_{\text{г}} < T_{\text{сх1}}; \\ B - T_{\text{сх2}} > \tilde{T}_{\text{нв}}; T_{\text{сх2}} < \tilde{T}_{\text{г}} < T_{\text{сх1}}, \end{aligned}$$

где $T_{\text{сх1}}$, $T_{\text{сх2}}$ — начальная и требуемая температура сельскохозяйственной продукции, °C; $\tilde{T}_{\text{нв}}$, $\tilde{T}_{\text{г}}$ — средневзвешенная температура наружного воздуха и грунтовой воды, °C.

В режиме *A* работают источники искусственного холода. Охлаждение ведется за счет переноса основных тепловых потоков охлаждаемой сель-

скохозяйственной продукции в более теплую окружающую среду.

В режиме *B* работают источники естественного холода наружного воздуха и грунта. В это время охлаждение сельскохозяйственной продукции ведется за счет переноса основных тепловых потоков от охлаждаемой сельскохозяйственной продукции в более холодную окружающую среду.

Согласно второму началу термодинамики, в этом режиме не требуется затрат энергии на передачу тепла окружающей среде и основной потребитель холодильной машины — компрессор может быть отключен.

Использование естественного холода грунтовой воды увеличивает время работы холодильной машины в энергосберегающем режиме *B* и сокращает время включения компрессора в режиме *A*.

Наличие аккумулятора холода комбинированного действия дает возможность эффективно использовать аккумуляционные холодильные машины в ночное время суток в течение всего года.

Учитывая, что применение аккумулирования энергии холода в виде льда — крайне эффективный и наиболее экономически выгодный способ, в АКХМ используется льдоаккумулятор, в котором лед образуется от естественных и искусственных источников холода.

Плотность льда зависит от температуры и количества вмораживаемых пузырьков воздуха.

В среднем плотность естественного льда $\rho = 920 \text{ кг/м}^3$. Объемная масса льда $\rho_v = 500 \dots 600 \text{ кг/м}^3$. В методике расчета принято, что при атмосферном давлении температура таяния понижается. Теплота таяния льда $Q_{\text{л}}$ составляет 80 ккал/кг (335 кДж/кг). Теплоемкость льда при температуре $0 \dots -20 \text{ }^\circ\text{C}$ с достаточной точностью можно принять равной 0,5 ккал/(кг·град) (2,1 кДж/(кг·град)).

Расход льда за расчетный период G_p , кг, рассчитывается по формуле

$$G_p = \frac{\Sigma Q}{Q_{\text{л}}},$$

где ΣQ — суммарный расход холода за расчетный период, ккал.

Объем аккумулятора для льда может быть рассчитан по формуле

$$V_{\text{л}} = \frac{aG_p}{b\rho_v},$$

где v — объем аккумулятора, м³; a — коэффициент запаса, принимаем 1,2; b — коэффициент заполнения аккумулятора с учетом расчетных пустот принимаем 0,9.

Тепловая нагрузка, ккал/ч, рассчитывается по выражению

$$Q_{\text{т}} = G_b c (t_1 - t_2),$$

где $Q_{\text{т}}$ — тепловая нагрузка, ккал; G_b — расход воды, кг/ч; c — теплоемкость воды ккал/(кг·°C); t_1 , t_2 — температура охлаждаемой и охлажденной воды, °C.

Кратность количества охлаждаемого молока к количеству расходуемого на охлаждение льда K может быть рассчитана из выражения

$$K = \frac{Q_{\text{л}}}{C(t_1 - t_2)}.$$

Теплоемкость цельного молока при температуре 30 °С составляет 0,940 ккал/(кг-град).

Градирия водоледяного типа рассчитывается методом подобия.

Теплота охлаждения градирии такого типа может быть получена из выражения

$$T_{\text{ох}} = V_{\text{взд}} \rho_{\text{взд}} (i_{\text{b2}} - i_{\text{b1}}) F \xi,$$

где $T_{\text{ох}}$ — мощность охлаждения, кВт; $\rho_{\text{взд}}$ — плотность воздуха, кг/м³; $i_{\text{b2}}, i_{\text{b1}}$ — удельная энтальпия воздуха на выходе и входе, кДж/кг; $V_{\text{взд}}$ — производительность вентилятора базовой градирии, м³/ч; F — теплопередающая поверхность градирии, м²; ξ — коэффициент подобия.

Количество аккумулированного холода рассчитывается по формуле

$$W_x = T_{\text{ох}} \Delta t,$$

где W_x — количество аккумулированного холода, ккал; Δt — длительность рабочего цикла, ч.

УДК 621.31:628.8–69.001.57

Н.В. Оболенский, доктор техн. наук

Е.Б. Миронов

Нижегородский государственный инженерно-экономический институт

С.Б. Красиков

Нижегородский техникум отраслевых технологий

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ НАИБОЛЕЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ВОДЫ

Вывявление энергосберегающих электронагревателей воды и нагревателей других сред из их многочисленных конструкций, которые используются в технологических процессах сельскохозяйственного производства и в быту, в частности, в системах отопления, санитарно-бытового, горячего водоснабжения и др., весьма актуально, так как их применение является одним из путей эффективного расходования энергетических ресурсов страны.

Исследования проводились в Нижегородском государственном инженерно-экономическом институте на разработанном, изготовленном и установленном в лаборатории кафедры «Механика и сельскохозяйственные машины» стенде для сравнительных теплотехнических испытаний электри-

ческой программы предусматривает расчет технических характеристик АКХМ при работе со всеми типами теплообменников для охлаждения молока.

Расчет требуемой хладопроизводительности установок для охлаждения жидкости таков:

$$Q = G(T_{\text{н}} - T_{\text{к}})C_{\text{рж}},$$

где G — объемный расход охлаждающей жидкости, м³/ч; $T_{\text{н}}, T_{\text{к}}$ — начальная и конечная температура жидкости, °С; $C_{\text{рж}}$ — удельная теплоемкость охлаждающей жидкости, кДж/(кг·°С).

Таким образом, повышение эффективности холодильных установок осуществляется за счет сокращения капитальных и эксплуатационных затрат при снижении установленной мощности АКХМ; сокращения затрат на электроэнергию при использовании выгодного ночного тарифа; экономии энергии при использовании природного холода; экономии энергии на привод холодильной машины при понижении температуры конденсации в ночное время.

Список литературы

1. Калнинь, И.М. Энергоэффективность и экологическая безопасность холодильных систем / И.М. Калнинь // Холодильная техника. — 2008. — № 3. — С. 12–14.