

Таким образом, качество очистки, определяемое массовым содержанием частиц в потоке масла, удаляемого через нижнее сливное отверстие, зависит от времени  $t$ , нахождения частицы в гидроциклоне и радиуса зоны противотока  $r = r_0$ , т. е. от радиуса поверхности нулевой осевой скорости, определяющей разделение потока масла и унос частиц через верхнее или нижнее сливные отверстия. Поэтому, задавшись временем очистки масла и радиусом поверхности нулевых скоростей, можно рассчитать геометрические параметры гидроциклона, удовлетворяющего предъявляемым тре-

бованиям качества очистки масел от нерастворимых примесей.

**Список литературы**

1. Глушенко, А.А. Экологически безопасные технологии для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла с использованием гидроциклона / А.А. Глушенко. — Ульяновск: УГСХА, 2011. — 166 с.
2. Поваров, А.К. Гидроциклоны / А.К. Поваров. — М.: Госгортехиздат, 1961. — 256 с.
3. Мустафьев, А.М. Теория и расчет гидроциклона / А.М. Мустафьев. — Баку: РИФ, 1969. — 172 с.

УДК 681.5:637.117

*А.Б. Коршунов, канд. техн. наук*

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии

**КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА С АККУМУЛЯТОРАМИ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА**

Важнейшими задачами оптимального функционирования технологических линий первичной обработки и хранения молока является создание и внедрение автоматизированных систем, обеспечивающих контроль и регулирование потоков молока и хладоносителя с высокой степенью точности изолированно от окружающего воздуха.

Схема контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя в системах охлаждения с аккумуляторами естественного холода с использованием электромагнитных средств измерения была разработана во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства. На рисунке представлена функционально-структурная схема, определяющая режимы работы оборудования этой системы, которая состоит из объекта управления (ОУ) и системы управления (СУ). СУ включает электрически связанные между собой устройства управления отдельными подсистемами, комплекты датчиков и преобразователей [1–3].

Из функционально-структурной схемы видно, что режим работы устройств для контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя зависит от функционирования дискретно-регулируемого электропривода (ДРЭ) молочного насоса 2 и насоса хладоносителя 5, управляемых датчиками верхнего и нижнего уровня, расположенных в молочном релизере 1. В общем случае объектом управления в рассматриваемой подсистеме является система трубопровод — поток молока и хладо-

носителя — накопительно-регулирующая емкость (релизер). Это — стационарная, динамическая система с распространенными параметрами, характеризующаяся широким изменением технологических параметров.

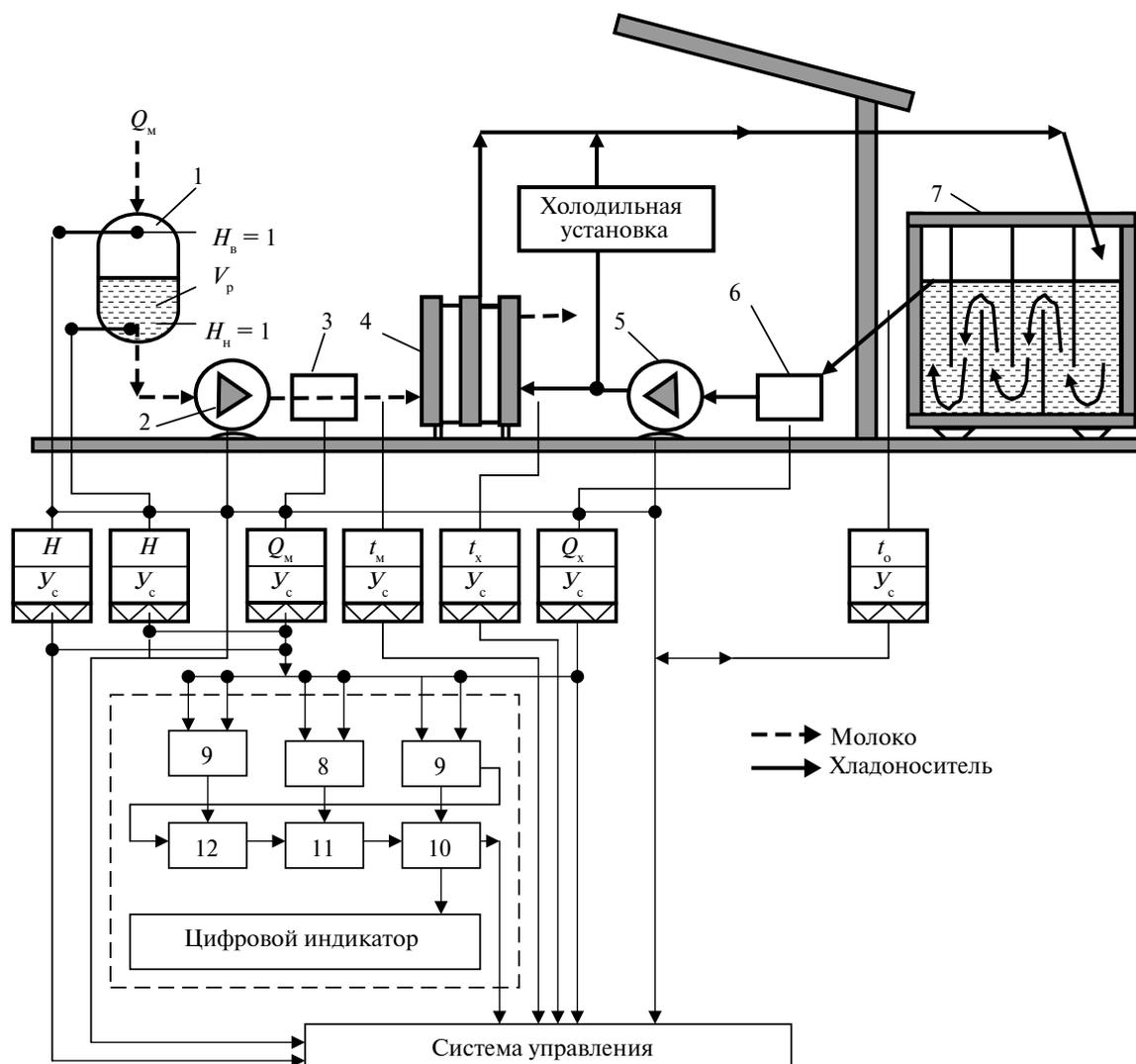
Установлено, что параметрическими возмущениями для этой системы являются приращения величин потока молока  $Q_m$  в молочном релизере 1 и  $Q_x$  потока хладоносителя с учетом требуемой температуры охлаждения.

Основными уравнениями, описывающими потоки подачи и расхода молока и хладоносителя на  $i$ -м участке молокопровода линии обработки являются стационарные, случайные функции, зависящие от времени:

$$Q_m = \left. \begin{aligned} &\sum \tilde{m}[Q_m]; Q_m^0(t) \\ &\int_0^T Q_{i-1}(t) dt - \int_0^T Q_i(t) dt \leq V_p \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где:  $\tilde{m}[Q_m]$  — оценка математического ожидания потока подачи молока, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_m^0(t)$  — центрированное значение сплошного случайного потока подачи, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{i-1}(t)$ ,  $Q_i(t)$  — средние значения потоков расхода на двух соседних ступенях регулирования, м<sup>3</sup>/ч;  $T$  — время цикла обработки, ч;  $V_p$  — вместимость накопительно-регулирующей емкости, м<sup>3</sup>.

Учитывая, что для системы контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя  $Q_n(t) = Q_p(t)$  и соответственно  $V_p = 0$ ,  $Q_p(t) = \text{const}$ , получим широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) потоков молока и хладоносителя, определяемую ре-



**Функционально-структурная схема системы контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя:**

1 — накопительно-регулирующая емкость (НРЕ); 2 — молочный насос НМУ-6; 3, 6 — электромагнитные преобразователи потоков молока и хладоносителя; 4 — проточный теплообменник; 5 — насос хладоносителя; 7 — льдоаккумулятор естественного холода (АЕХ) комбинированного действия; 8 — измеритель разности потенциалов электродных датчиков; 9 — блок измерения электрического сопротивления жидкости; 10 — интегрирующий блок; 11 — вычислительный блок; 12 — блок сравнения;  $H$  — уровень молока в НРЕ;  $Q_M$  — поток подачи молока;  $Q_x$  — поток хладоносителя;  $t_M$  — температура молока;  $t_x$  — температура хладоносителя;  $t_o$  температура наружного воздуха;  $U_c$  — усилительное звено

жимом работы ДРЭ молочного насоса 2 и реле-ра 1. При этом интегрирующий блок 10 и вычислительный блок 11 электромагнитного расходомера, сравнивая значения электродвижущей силы, пропорциональной скорости потока, вырабатывают сигнал, пропорциональный объему протекающего молока:

$$M_c = K \int_0^{T_{\text{рц}}} E(t) dt = Bl \int_0^{T_{\text{рц}}} v(t) dt, \quad (2)$$

где  $M_c$  — количество молока, измеряемое устройством;  $K$  — масштабный коэффициент;  $E$  — электродвижущая сила, В;  $B$  — электромагнитная индукция, Тл;  $l$  — расстояние между электродами, см;  $v$  — скорость потока молока;  $T_{\text{рц}}$  — время рабочего цикла;

Таблица состояний определяет и описывает эффективные алгоритмы функционирования системы контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя в теплое  $F_T$ , холодное  $F_x$ , переходное время года  $F_{\text{п}}$ .

Введены следующие логические условия включения операторов команд соответствующие сигналам (см. таблицу):  $q$  — включения автоматического режима;  $q_o$  — датчика температуры наружного воздуха;  $q_x$  — датчика температуры хладоносителя аккумулятора холода;  $q_m$  — датчика температуры молока, поступающего на обработку;  $q_m$  — термореле защиты электродвигателей холодильной установки;  $q_d$  — датчика давления нагнетания хладоагента холодильной установки;  $q_s$  — датчика давления

Таблица состояний

		Логические условия								Операторы				
$F_T$	$q^*$	$\bar{q}_o^*$	$q_x^*$	$q_M$	$\bar{q}_m$	$\bar{q}_d$	$\bar{q}_s$	$q_B^*$	$\bar{q}_H^*$	$\bar{Y}_K$	$\bar{Y}_{KH}$	$\bar{Y}_{по}$	$\bar{Y}_M$	$\bar{Y}_X$
$F_X$	$q^*$	$q_o^*$	$q_x^*$	$q_M$	0	0	0	$q_B^*$	$\bar{q}_H^*$	$Y_K$	$Y_{KH}$	$Y_{по}$	$Y_M$	$Y_X$
$F_{II}$	$q^*$	$\bar{q}_o^*$	$q_x^*$	$q_M$	$\bar{q}_m$	$\bar{q}_d$	$\bar{q}_s$	$q_B^*$	$\bar{q}_H^*$	$Y_K$	$Y_{KH}$	$Y_{по}$	$Y_M$	$Y_X$

всасывания хладоагента холодильной установки;  $q_B$  — датчика верхнего уровня НРЕ молочного насоса НМУ-6;  $q_H$  — датчика нижнего уровня НРЕ молочного насоса НМУ-6;

Введены следующие обозначения операторов:  $Y_K$  — включение электропривода компрессора;  $Y_{KH}$  — включение электропривода насоса оборотной воды охлаждения конденсатора;  $Y_{по}$  — включение предварительного охлаждения;  $Y_M$  — включение молочного насоса;  $Y_X$  — включение насоса хладоносителя; \* — режим дискретного регулирования.

Алгоритмы функционирования устройства для контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя охлаждающей системы в теплое  $F_T$ , холодное  $F_X$ , переходное время года  $F_{II}$ , реализуются согласно соответствующим логическим условиям  $q_i$ , поступающим от первичных преобразователей и операторов  $Y_i$ , выполняющих функции командных сигналов.

Из таблицы состояний следует, что включение насосов молока  $F_T(Y_M)$  и хладоносителя  $F(Y_X)$  осуществляется одновременно при достижении текущим уровнем молока в НРЕ верхнего уровня  $H_B$ . При этом подаются сигналы в систему управления  $q_B = 1$ . Отключение насосов молока и хладоносителя осуществляется при достижении нижнего уровня в НРЕ  $H_H$ , т. е.  $q_H = 1$ . Между уровнями молока в релизере автоматическое включение или отключение насосов неоднозначно и определяется очередностью поступления сигналов  $q_B$  и  $q_H$  в соответствии с алгоритмами управления. Поэтому электродвигатели молочного насоса и хладоносителя должны быть включены при  $F(Y_M) = 1, F(Y_X) = 1$ , отключаться при  $F(Y_M) = 0, F(Y_X) = 0$ .

Если электродвигатель молочного насоса включен  $F(Y_M) = 1$  при наличии сигнала от датчика верхнего уровня или от сигнала о работе электродвигателя насоса хладоносителя  $F(Y_X)$ , то отключаться при  $F(Y_X) = 0$ . При этом, электродвигатель насоса хладоносителя должен быть включен  $F(Y_X) = 1$  от сигнала с датчика температуры наружного воздуха  $q_o$  при условии  $F(Y_M) = 1$ .

Электродвигатель насоса хладоносителя должен быть включен от сигнала с датчика давления  $d_p = 1$  холодильной установки.

В результате получим следующее:

1. Заполнение накопительно-регулирующей емкости (релизера)  $H \rightarrow 1$ :

$$\begin{aligned}
 F(Y_M) &= 0; H < H_H; q_B = 0; q_H = 1; \\
 F(Y_M) &= 0; H = H_H; q_B = 0; q_H = 1; \\
 F(Y_M) &= 0; H_B > H > H_H; q_B = 0; q_H = 1; \\
 F(Y_X) &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

2. Опорожнение накопительно-регулирующей емкости  $H \Rightarrow 0$ :

$$\begin{aligned}
 F(Y_M) &= 1; H \geq H_B; q_B = 1; q_H = 1; \\
 F(Y_M) &= 1; H_B > H > H_H; q_B = 1; q_H = 1; \\
 F(Y_M) &= 0; H \leq H_H; q_B = 0; q_H = 0; \\
 F(Y_X) &= 1.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Приведенная математическая модель реализуется дискретно регулируемые звеньями охлаждения молока.

Установлено, что дискретный способ регулирования случайных потоков характеризуется значениями математических ожиданий частоты и относительной продолжительности включений, а также максимальными значениями этих величин, которые используются при расчетах электропривода и исполнительных механизмов регулируемых звеньев.

Частота и относительная продолжительность включений дискретно регулируемых электроприводов позволяют рассчитать тепловые режимы электродвигателей, работающих в случайных режимах. Так, для представленной ШИМ расчетные значения частоты и относительной продолжительности включений рассчитывается по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 [Z_{ШИМ}] &= \frac{1}{\tilde{m}[T_{ШИМ}]}; Z_{ШИМр} = \frac{1}{T_{ШИМр}}; \\
 \tilde{m}[\epsilon_{ШИМ}] &\equiv \frac{\tilde{m}[\Pi_{ШИМ}]}{\sum(\tilde{m}[T_{ШИМ}]; \tilde{m}[\Pi_{ШИМ}])}; \\
 \epsilon_{ШИМр} &\equiv \frac{\sum[\tilde{m}[\Pi_{ШИМ}]; \sigma\Pi_{ШИМ}]}{\sum(\tilde{m}[T_{ШИМ}]; \tilde{m}[\Pi_{ШИМ}])},
 \end{aligned} \right\}
 \tag{5}$$

где  $\tilde{m}[Z_{ШИМ}]$  — оценка математического ожидания частоты включений в режиме ШИМ;  $Z_{ШИМр}$  — расчетное значение частоты включений в режиме ШИМ;  $\tilde{m}[\Pi_{ШИМ}]$  — оценка математического ожидания паузы ШИМ;  $\tilde{m}[T_{ШИМ}]$  — оценка математического ожидания величины периода ШИМ;  $\tilde{m}[\epsilon_{ШИМ}]$  — оценка математического ожидания относительной продолжительности включений в режиме ШИМ;  $\epsilon_{ШИМр}$  — расчетное значение относительной продолжительности включений в режиме ШИМ;  $y$  — среднеквадратичное отклонение случайных величин.

Из приведенных условий функционирования и алгоритмов управления следует, что система контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя автоматически выбирает эффективные режимы контроля потока и охлаждения молока в зависимости от уровня молока в релизере и соответственно от температуры хладоносителя и окружающего воздуха.

Применение изложенной математической модели и функционально структурной схемы контроля и регулирования потоков молока и хладоносителя в системах охлаждения с аккумуляторами естественного холода с использованием электромагнитных средств измерения позволит повысить энергоэффективность современных линий обработки молока, точность работы динамических звеньев, сократить объемы или вообще исключить

накопительно-регулирующие емкости, сократить эксплуатационные издержки, повысить качество молочной продукции.

#### Список литературы

1. Учеваткин, А.И. Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на фермах: автореф. дис. ... доктора техн. наук / А.И. Учеваткин. — М.: ВИ-ЭСХ, 1998. — 44 с.
2. Пат. 2147398 РФ. Устройство для транспортировки и охлаждения молока при доении / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов [и др.]. — № 99117378/13, заявл. 16.08.1999, опубл. 20.04.2000, Бюл. № 11.
3. Пат. № 2390124 РФ. Комбинированная установка для охлаждения молока с использованием естественного холода / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов, А.Б. Коршунов [и др.]. — № 2009103663/12, заявл. 05.02.2009, опубл. 27.05.2010, Бюл. № 15.

УДК 631.8

*Н.Д. Аргунов, канд. техн. наук*

*Я.К. Абрамов, канд. техн. наук*

*Н.А. Саломатина*

*В.М. Веселов, канд. техн. наук*

*В.М. Залевский*

ЗАО «Твин Трейдинг Компани»

*Г.Е. Мерзлая, доктор с.-х. наук*

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии

## СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

**О**дна из современных проблем сельского хозяйства — ликвидация дефицита органических удобрений, без применения которых невозможно сохранить на должном уровне запасы почвенного гумуса и обеспечить надлежащие эколого-биологические функции почв.

Объем традиционных органических удобрений в стране, в частности навоза, сокращается по причине снижения поголовья крупного рогатого скота. Замена же органических удобрений минеральными не компенсирует недостаток органического вещества, так как приводит к истощению почв и неизбежному снижению урожайности. К тому же по причине недостаточной эффективности навоза дозы его внесения в почву весьма высоки и в зависимости от вида сельскохозяйственной культуры составляют от 38 до 100 т/га [1].

В то же время в Российской Федерации имеется постоянно возобновляемый источник органического сырья, а именно осадки сточных вод (ОСВ), которые по агрохимической ценности не только не уступают навозу, но и превосходят его. ОСВ

с успехом могут использоваться для изготовления компостов, почвогрунтов и других удобрительных средств, которые целесообразно применять в сельском и лесном хозяйствах, а также при озеленении городских территорий, рекультивации земель и т. п. При этом одновременно решается и другая народно-хозяйственная проблема — утилизации ОСВ, представляющих собой потенциально опасные источники загрязнения окружающей среды. В настоящее время на канализационных очистных сооружениях городов Российской Федерации ежегодное количество образуемых осадков составляет 70...80 млн м<sup>3</sup> при влажности 96...97 %, или 2,5...3 млн т сухого вещества. Они оказывают многостороннее негативное влияние на окружающую среду [2].

Во многих государствах на законодательном уровне декларируется принцип преимущественного рециклирования отходов, а не избавление от них любым путем. Так, в Люксембурге в сельском хозяйстве применяют 90 % годового выхода осадков, в Швейцарии — 70 %, Германии — 38 %, Фран-