

УДК 62-192 (075.8)

**А.В. Перебейнос**, С.Д. Угрюмова., Е.Ю. Попова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## **РАСЧЕТНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПАСТЕРИЗОВАННОГО МОЛОКА**

*Представлена методика оценки надёжности и безотказной работы линии производства пастеризованного молока с использованием охладителей пластинчатого типа.*

**Ключевые слова:** технологическая линия, молоко, надёжность.

**A.V. Perebeinos, S.D. Ugryumova, E.Yu. Popova**

## **THE SETTLEMENT-LOGIC SCHEME OF NON-FAILURE OPERATION OF A LINE MANUFACTURE OF THE PASTEURIZED MILK**

*In given article the technique of a mark of reliability and non-failure operation of a line of manufacture of the pasteurized milk with use of coolers of lamellar type is presented.*

**Key words:** a technological line, milk, reliability.

При проектировании технологических линий и отдельных единиц технологического оборудования необходимо не только обеспечить требуемые параметры выпускаемой продукции, но и гарантировать эти показатели в заданных пределах в течение всего периода эксплуатации.

В процессе эксплуатации на оборудование действуют внутренние и внешние факторы, которые могут привести к изменению параметров отдельных элементов, механизмов и оборудования в целом. Наиболее характерными являются следующие:

- действие энергии окружающей среды, включая человека, выполняющего функции оператора или ремонтника;
- внутренние источники энергии, связанные как с рабочими процессами, протекающими в оборудовании, так и с работой отдельных механизмов;
- потенциальная энергия, которая накоплена в материалах и деталях оборудования в процессе их изготовления.

Проектируемая нами линия производительностью 1000 л/сут для мини-предприятий занимает площадь в 40 м<sup>2</sup>. Количество обслуживающего персонала технологической линии 2 человека, необходимая высота помещения 2,5 м. Потребление ледяной воды 4 м<sup>3</sup>/сут, потребление электроэнергии 1,5 кВт/ч.

На рис. 1 представлена структурная схема технологической линии производства пастеризованного молока. Молоко, поступающее на производство с ферм, перекачивается центробежным самовсасывающим насосом 1 из автомолцистерн. Для определения количества молока на заводах используют устройства для измерения массы – весы и объема – расходомеры-счетчики 2. Масса принимаемого молока может устанавливаться также за счет использования емкостей 3 с тензометрическим устройством или путем использования тарированных емкостей.

Принятое молоко проходит первичную обработку, в процессе которой оно очищается от механических примесей на фильтрах или сепараторах-молокоочистителях 7, а затем оно охлаждается до 4-6 °С на пластинчатых охладителях 4 и насосами 1 по трубам через уравнильный бачок 5 направляется в емкости хранения 3. Молоко с температурой не выше 10 °С допускается принимать без охлаждения. Охлажденное молоко хранится в емкостях 3 и нормализуется.

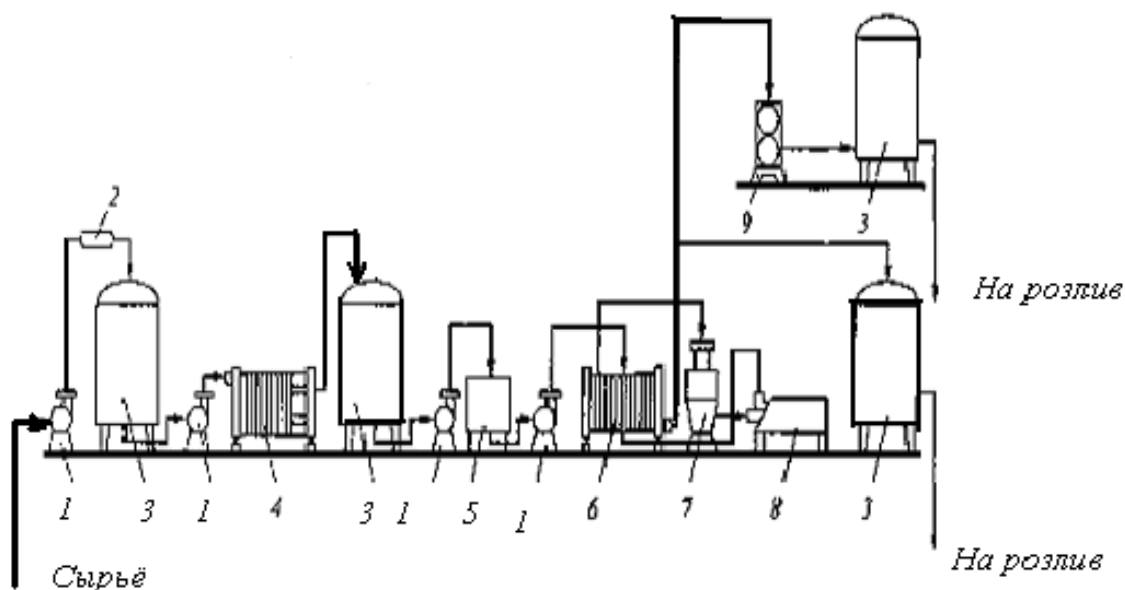


Рис. 1. Технологическая линия производства пастеризованного молока:

- 1 – центробежные насосы; 2 – счётчики-расходомеры; 3 – ёмкости для хранения молока;  
 4 – пластинчатые охладители; 5 – уравнильный бачок; 6 – пастеризационно-охладительная  
 пластинчатая установка; 7 – сепаратор-молокоочиститель; 8 – гомогенизатор;  
 9 – трубчатый пастеризатор

Fig. 1. Technological line of manufacture of the pasteurized milk:

- 1 – centrifugal pumps; 2 – counters-flowmeters; 3 – capacities for milk storage; 4 – lamellar coolers;  
 5 – a leveling tank; 6 – пастеризационно-охладительная lamellar installation; 7 – a separator  
 milk-cleaner; 8 – a homogenizer; 9 – a tubular pasteurizer

С помощью нормализации доводят до требований стандарта содержание в молоке жира или сухих веществ. В зависимости от жирности исходного сырья и вида вырабатываемого молока для нормализации по содержанию жира используют обезжиренное молоко или сливки, по содержанию сухих веществ – сухое обезжиренное молоко.

Нормализацию молока проводят двумя способами: в потоке или путем смешивания. Для нормализации в потоке используют сепараторы-нормализаторы, в которых непрерывная нормализация молока совмещается с очисткой его от механических примесей.

Перед поступлением в сепаратор-нормализатор молоко предварительно нагревается до 40-45 °С в секции рекуперации пластинчатой пастеризационно-охладительной установки 6.

На предприятиях небольшой мощности молоко обычно нормализуют смешиванием в резервуарах 3. Для этого к определенному количеству цельного молока при тщательном перемешивании добавляют нужное количество обезжиренного молока или сливок, рассчитанное по материальному балансу.

Для предотвращения отстоя жира и образования в упаковках сливочной пробки при производстве молока топленого, восстановленного и с повышенной массовой долей жира (3,5-6,0 %) нормализованное молоко подогревают до 40-45 °С и очищают на центробежных сепараторах-молокоочистителях 7 и обязательно гомогенизируют в гомогенизаторах 8 при температуре 45-63 °С и давлении 12,5-15 МПа. Затем молоко пастеризуют при 76 °С ( $\pm 2$  °С) с выдержкой 15-20 с и охлаждают до 4-6 °С с использованием пластинчатых пастеризационно-охладительных установок 6. Эффективность пастеризации в таких установках достигает 99,98 %.

При выработке топленого молока нагрев осуществляют при температуре 97-99 °С в трубчатых или пластинчатых пастеризаторах 9. Выдержку при данной температуре, или процесс топления молока, проводят в закрытых емкостях 3 в течение 3-4 ч. После топления молоко охлаждают в пластинчатых пастеризационно-охладительных установках до температуры 4-6 °С.

Затем молоко при температуре 4-6 °С поступает в промежуточную емкость 3, из которой направляется на розлив.

Пастеризованное молоко выпускают в стеклянных бутылках и бумажных пакетах, мешках из полимерной пленки, а также во флягах, цистернах с термоизоляцией, контейнерах различной вместимости.

Все шире используется для розлива пастеризованного молока тара разового потребления – полиэтиленовые мешки, бумажные пакеты. Такая тара значительно легче, компактнее, исключает сложный процесс мойки, гигиеничнее, удобнее для потребителя и транспортирования, требует меньших производственных площадей, трудовых и энергетических затрат.

Бумажные пакеты имеют форму тетраэдра (тетра-пак), снаружи покрыты парафином, внутри – полиэтиленом; форму бруска (брик-пак) с двусторонним покрытием полиэтиленом и применением аппликаторной ленты, что обеспечивает большую прочность швов по сравнению с пакетами тетра-пак.

В пакеты тетра-пак молоко фасуют на машинах, которые из движущейся и стерилизуемой (бактерицидной лампой) бумажной ленты сваривают рукав, заполняемый молоком. Через определенные промежутки времени зажимы с нагревателями пережимают рукав, образуя гирлянду пакетов с молоком, которые разрезают и ставят в корзину.

Хранят пастеризованное молоко при температуре 0-8 °С в течение 36 ч с момента окончания технологического процесса. Фасованное молоко должно иметь температуру не выше 7 °С и может быть сразу, без дополнительного охлаждения, передано в реализацию или направлено на временное хранение сроком не более 18 ч в холодильные камеры с температурой не выше 8 °С и влажностью 85-90 %.

Представленная нами линия может работать непрерывно 1 год. Но каждые 3 месяца необходимо техническое обслуживание пластинчатых теплообменников, замена резиновых прокладок и очистка пластин от различных загрязнений.

Расчёт надёжности технологической линии (ТЛ) проводим в несколько этапов.

На первом этапе описываем работу линии. На этом этапе определяется содержание термина «безотказная работа линии» и составляется перечень свойств исправной линии и разделение её на единицы технологического оборудования.

На втором этапе производится разбор и классификация отказов единиц технологического оборудования и линии. Оценивается влияние отказа каждой единицы линии на работоспособность ТЛ в целом.

Третий этап является основным этапом, на котором составляется структурная (логическая) модель безотказной работы (БР) линии.

На этом этапе обычно выделяют блоки, в которых при отказе хотя бы одного элемента отказывает весь блок. Для каждого блока проводится расчёт надёжности. Далее каждый блок нумеруется и обозначается буквой. Затем перечисляются комбинации блоков, обеспечивающих БР линии и, наконец, составляется логическая схема для расчёта надёжности ТЛ. Часто она называется ещё расчётно-логической схемой. Эта схема характеризует состояние (работоспособное или неработоспособное) ТЛ в зависимости от состояния отдельных элементов (блоков) [1].

Наработка до отказа технологической линии (ТЛ) в этом случае равна наработке до отказа того элемента, у которого она оказалась минимальной [2, 3]:

$$T_{ТЛ} = \min(T_j), j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $n$  – число элементов линии.

На рис. 2 изображена схема последовательного соединения аппаратов в линии производства молока.

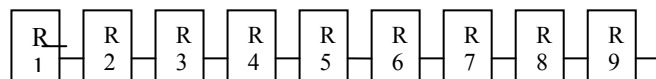


Рис.2. Блок-схема с последовательным соединением аппаратов:  
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9 – количество аппаратов в линии  
Fig. 2. Block the scheme with consecutive connection of devices:  
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9 – quantity of devices in a line

Функция надёжности системы при таком соединении равна

$$P_{ТЛ}(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t), \quad (2)$$

где  $P_j(t)$  – функция надёжности  $j$ -го элемента.

В связи с этим интенсивность отказов линии из  $n$  элементов:

$$A_{ТЛ} = \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{ (при } \lambda_j = \text{const)}. \quad (3)$$

Соответственно средняя наработка линии до отказа:

$$T_{ТЛср} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n 1/T_{срj}}, \quad (4)$$

где  $T_{срj}$  – средняя наработка до отказа  $j$ -го элемента.

При равнонадёжных элементах ТЛ имеем:

$$P_{ТЛ}(t) = P_j^n(t) = 1 - q_j(t) \cdot n \quad \text{или} \quad P_{ТЛ}(t) = \sqrt[n]{P_{ТЛ}(t)} = 1 - q_{ТЛ} / n. \quad (5)$$

Здесь для нашей линии вероятность  $P_{ТЛ}(t) = 0,95$ , технологическая линия состоит из девяти равнонадёжных элементов ( $n = 9$ ).

Определим вероятность БР, используя уравнение (5) для технологической линии.

Так как  $P_{ТЛ}(t)$  близка к единице, то определяем  $P_i(t)$  по формуле (5):

$$P_j(t) = \sqrt[n]{P_{ТЛ}(t)} = 1 - q_{ТЛ} / n = 1 - \frac{0,05}{10} = 0,995.$$

Таким образом, из существующих методов анализа надёжности механических систем и моделей отказов предпочтение следует отдавать тем, которые, учитывая физику процесса и его стохастическую природу, позволяют установить непосредственную аналитическую зависимость между показателями надёжности [в первую очередь для  $P(t=T)$ ] и исходными параметрами. Такие зависимости служат основой разработки программ ЭВМ для прогнозирования надёжности и оценки различных вариантов принимаемых решений по совершенствованию конструкции всех элементов, составляющих технологическую линию.

### Список литературы

1. Ветошкин А.Г. Надёжность технических систем и техногенный риск [Текст] / А.Г. Ветошкин. – Пенза: ПГУАиС, 2003. – 155 с.
2. Гуськов А.В. Надёжность технических систем и техногенный риск [Текст] / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 427 с.
3. Матвеевский В.Р. Надёжность технических систем [Текст] / В.Р. Матвеевский. – М.: Мос. гос. ин-т электроники и математики, 2002. – 113 с.

**Сведения об авторах:** Перебейнос Анатолий Васильевич, доктор технических наук, профессор,  
Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор;  
Попова Екатерина Юрьевна, магистр.