

УДК 664.143

**Н. С. Голуб**, студентка (БГТУ);**М. И. Кулак**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ)

### ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УПАКОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В данной статье рассматривается взаимосвязь комплексных показателей надежности упаковочного оборудования и его производительности. Приводятся основные комплексные показатели надежности (коэффициенты готовности, технического и общего использования) и их значения. Данные показатели позволяют оценить влияние различных факторов на производительность технической системы. Различают следующие виды производительности: номинальную, фактическую собственную, фактическую техническую и среднюю фактическую, а также относительные производительности. Рассчитаны значения относительных производительностей упаковочного оборудования кондитерских предприятий.

This article examines the relationship of complex indicators Securely pack-novel developing equipment and its performance. The basic complex exponents, whether reliability (coefficients of readiness, maintenance and general use) and their values. These figures allow us to estimate the impact of various factors on the performance of the technical system. The following types of performance: nominal, actual property, the actual technical and average actual and relative performance. The values of the relative performance of packaging equipment confectioneries.

**Введение.** Надежность машин отрасли — это динамически непрерывно развивающаяся дисциплина, которая сочетает в себе основные приемы и методы, призванные обеспечивать высокий уровень надежности на всех стадиях жизненного цикла технологических машин. В условиях постоянного износа оборудования, конструкций, их физического и морального старения, непрерывного роста технологических нагрузок повышение надежности машин становится одной из важнейших задач. Знание надежности необходимо для повышения уровня автоматизации, уменьшения затрат на ремонт, убытков от простоев машин и обеспечения безопасности персонала. Вследствие своего влияния на характер и безопасность труда надежность машин имеет большое социальное значение. Надежность машин как наука изучает специфику износовых и усталостных отказов оборудования под влиянием большого многообразия факторов.

В связи с этим важным является применение современных методов поддержания высокого уровня надежности оборудования в сочетании с максимально возможной его производительностью.

Надежность оборудования отражают ее основные показатели, которые принято называть комплексными показателями надежности. Основные комплексные показатели надежности позволяют оценить влияние различных факторов на производительность технической системы. Надежность же в свою очередь влияет на производительность оборудования и при частых простоях значительно снижает ее.

В данной статье рассматривается взаимосвязь комплексных показателей надежности

упаковочного оборудования кондитерского производства с его производительностью. Анализ данных проведен с учетом статьи «Надежность кондитерского упаковочного оборудования» [1].

**Комплексные показатели надежности.** К комплексным показателям надежности относятся коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент общего использования [2].

Коэффициент готовности  $K_r$  представляет собой вероятность событий, состоящую в том, что система работоспособна в произвольно выбранный момент  $t$ :

$$K_r = \frac{1}{1 + \rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — интенсивность потерь времени (ИПВ) на восстановление, которая определяется по формуле

$$\rho = \omega T, \quad (2)$$

где  $\omega$  — средняя частота потока простоя;  $T$  — среднее время простоя.

Коэффициент технического использования

$$K_{ти} = \frac{1}{(1 + \rho + \rho_{то} + \rho_{ппр})}, \quad (3)$$

где  $\rho_{то}$  — ИПВ на техническое обслуживание (ТО);  $\rho_{ппр}$  — ИПВ на планово-предупредительные ремонтные работы (ППР).

Коэффициент общего использования

$$K_{ои} = \frac{1}{(1 + \rho + \rho_{то} + \rho_{ппр} + \rho_{н} + \rho_{отп})}, \quad (4)$$

где  $\rho_n$  — ИПВ на наладки (составляет 0,03 ч);  $\rho_{отп}$  — ИПВ по организационно-техническим причинам (ОТП) (принимается равной 0,01 ч).

Коэффициент общего использования можно найти, учитывая потери времени на планово-предупредительные ремонты и техническое обслуживание. Коэффициент ремонтов  $K_p$  определяется по формуле

$$K_p = \frac{1}{(\rho_{ппр} + (1 - \rho_{ппр})\rho_{то})}. \quad (5)$$

Интенсивность потерь времени на ППР

$$\rho_{ппр} = \frac{t_{ппр}}{T_3}, \quad (6)$$

где  $t_{ппр}$  — годовое время на ППР (на шоколадной фабрике составляет в среднем 80 ч);  $T_3$  — годовой фонд времени эксплуатации машины.

Интенсивность потерь времени по причине ежесменной подготовки рабочего места и технического обслуживания

$$\rho_{то} = \frac{T_{то}}{T_{см}}, \quad (7)$$

где  $T_{то}$  — среднее время на ежесменную подготовку рабочего места и техническое обслуживание (0,2–0,6 ч) [3];  $T_{см}$  — время смены (на предприятии 8-часовая смена). Следует отметить, что для цехов расчетное значение составляет 0,063, а для кондитерского оборудования — 0,038.

Таким образом, подставив (5) в (4), получим коэффициент общего использования:

$$K_{он} = \frac{K_p}{(1 + \rho + \rho_n + \rho_{отп})}. \quad (8)$$

Основные комплексные показатели надежности позволяют оценить влияние различных факторов на производительность технической системы. В табл. 1 приведены основные комплексные показатели надежности упаковочного оборудования кондитерских фабрик. Следует отметить, что при расчетах использовались следующие годовые фонды оборудования: для цехов производства шоколадной массы и конфет 1720 ч; для цеха производства шоколада 1730 ч; для глазировочной линии, упаковщика SIG 1750 ч; для шоколадной линии, шаровой мельницы UNICON и упаковщика Линепак 1820 ч; для дозатора № 2 1740 ч; для насоса прессового Universal 1780 ч.

Со временем наблюдается повышение отказов оборудования, следовательно, уменьшается производительность и коэффициент общего использования. Коэффициент восстановления при ремонте составляет 0,3–0,4 первоначального ресурса. На промышленных предприятиях, к которым можно отнести и шоколадную фабрику, коэффициент восстановления имеет значение 0,8–1,0 [2].

**Производительность упаковочного оборудования.** Различают следующие виды производительности: номинальную, фактическую собственную, фактическую техническую и среднюю фактическую.

Таблица 1

Комплексные показатели надежности

Наименование цеха и оборудования	Среднее время ремонта $T$ , ч	Потери на ППР $\rho_{ппр}$	Потери на восстановление $\rho$	$K_{пг}$	$K_{г}$	$K_{тп}$	$K_{он}$
Цех приготовления шоколадной массы	10,236	0,047	0,013	0,938	0,987	0,891	0,860
Цех производства шоколада	14,004	0,046	0,014	0,937	0,986	0,891	0,871
Цех производства конфет	11,494	0,047	0,020	0,933	0,98	0,885	0,855
Глазировочная линия	8,850	0,046	0,004	0,946	0,996	0,919	0,887
Шоколадная линия	8,335	0,044	0,016	0,936	0,984	0,911	0,879
Упаковщик SIG	19,500	0,046	0,018	0,934	0,982	0,908	0,890
Упаковщик Линепак	4,396	0,045	0,008	0,943	0,992	0,917	0,885
Дозатор № 2	18,018	0,044	0,015	0,937	0,985	0,912	0,880
Шаровая мельница UNICON	2,614	0,046	0,003	0,947	0,997	0,920	0,888
Насос прессовый Universal	10,000	0,044	0,016	0,936	0,985	0,911	0,879

Фактическая собственная производительность технической системы на периоде между ТО и ППР определяется как

$$Q_{сп} = Q_n K_{г} K_{тг}, \quad (9)$$

где  $Q_n$  — номинальная производительность системы, т. е. производительность, которой обладала бы система, если бы она работала бесперебойно;  $K_{тг}$  — коэффициент технологической готовности, который определяется по формуле

$$K_{тг} = K_{тг1} K_{тг2} = \left[ 1 - \left( \frac{\omega \chi}{Q_n} \right) \right] K_{тг2}, \quad (10)$$

где  $K_{тг1}$  — коэффициент выхода годной продукции с учетом потерь времени на брак из-за отказов;  $K_{тг2}$  — коэффициент выхода годной продукции с учетом брака;  $\chi$  — среднее количество бракованных изделий за один технологический отказ.

Количество изделий  $N$ , изготовленных за время  $t$ , рассчитывается по формуле

$$N = t Q_n. \quad (11)$$

Среднее время наработки на отказ найдено в часах  $T_{оч}$ , для перевода наработки на отказ в месяцах воспользуемся выражением

$$T_{ом} = \frac{T_{оч}}{20 \cdot 16} = \frac{T_{оч}}{320}. \quad (12)$$

Количество выпущенных изделий за время наработки на отказ определяется по формуле

$$N_o = Q_n T_{ом} = Q_n \frac{T_{оч}}{320}. \quad (13)$$

Исходя из этого, можно найти количество бракованных изделий за один технологический отказ:

$$\chi = K_{тг2} N_o = K_{тг2} Q_n \frac{T_{оч}}{320}. \quad (14)$$

Подставив  $\chi$  в формулу (10), найдем коэффициент технологической готовности:

$$\begin{aligned} K_{тг} &= \left[ 1 - \left( \frac{\omega K_{тг2} Q_n \frac{T_{оч}}{320}}{Q_n} \right) \right] K_{тг2} = \\ &= \left[ 1 - \left( \omega K_{тг2} \frac{T_{оч}}{320} \right) \right] K_{тг2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Фактическая техническая производительность машины с учетом ТО и ППР определяется по формуле

$$Q_{тг} = Q_n K_{тг} K_{тг}. \quad (16)$$

Средняя фактическая производительность системы с учетом всех потерь времени рассчитывается как

$$Q_{срп} = Q_n K_{он} K_{тг}. \quad (17)$$

Анализируя относительные производительности, можно установить, что они отличаются от номинальных производительностей в среднем на 5–17%. Самое малое изменение наблюдается у относительной собственной производительности, а самое большое — у средней относительной производительности.

Частота отказов и время нахождения в ремонте непосредственно влияют на коэффициент общего использования, от которого зависит фактическая производительность. Если коэффициент общего использования падает, то уменьшается и фактическая производительность, что увеличивает время на упаковывание кондитерских изделий.

Коэффициенты готовности, общего и технического использования меньше единицы, что свидетельствует о снижении фактической собственной и фактической технической производительностей. Все это приводит к увеличению затрат времени на упаковывание шоколадных изделий.

Более детально влияние потерь времени по рассматриваемым причинам отражает относительная производительность. Как видно из формул (9), (16) и (17), относительные производительности определяются через произведение коэффициентов. Можно ввести следующие относительные производительности.

Фактическая собственная производительность относительно номинальной находится по формуле

$$\tilde{Q}_{сп} = \frac{Q_{сп}}{Q_n} = K_{г} K_{тг}. \quad (18)$$

Фактическая техническая производительность относительно номинальной находится по формуле

$$\tilde{Q}_{тг} = \frac{Q_{тг}}{Q_n} = K_{тг} K_{тг}. \quad (19)$$

Средняя фактическая производительность относительно номинальной находится по формуле

$$\tilde{Q}_{он} = \frac{Q_{он}}{Q_n} = K_{он} K_{тг}. \quad (20)$$

В табл. 2 рассмотрены все виды производительностей относительно номинальной.

Таблица 2

## Относительные производительности

Наименование цеха и оборудования	Относительная собственная производительность $\tilde{Q}_{сп}$	Относительная техническая производительность $\tilde{Q}_{тп}$	Средняя относительная производительность $\tilde{Q}_{он}$
Цех приготовления шоколадной массы	0,926	0,836	0,807
Цех производства шоколада	0,925	0,835	0,816
Цех производства конфет	0,914	0,826	0,798
Глазирочная линия	0,942	0,870	0,839
Шоколадная линия	0,921	0,853	0,823
Упаковщик SIG	0,917	0,849	0,831
Упаковщик Линепак	0,936	0,865	0,835
Дозатор № 2	0,923	0,854	0,824
Шаровая мельница UNICON	0,945	0,872	0,841
Прессовый насос Universal	0,922	0,853	0,823

Как видно в табл. 2, среди цехов кондитерской фабрики в наибольшей степени из-за простоев и отказов оборудования снижается производительность цеха изготовления конфет и шоколадной массы. Снижение средней производительности относительно номинальной составляет 18–20%, что должно учитываться при составлении местных норм выработки.

Для упаковочного оборудования как в составе технологических линий, так и установленного отдельно уровень потери производительности примерно одинаков и составляет 16–18%. В аналогичных границах находятся и снижение производительности отдельных агрегатов — шаровой мельницы, прессового насоса.

**Вывод.** Таким образом, установлено количественно влияние затрат времени на производительность оборудования. Чем более сложными и продолжительными являются ремонты, тем меньше производительность, следовательно, увеличивается время на упаковывание

кондитерской продукции. Для постоянной бесперебойной работы оборудования следует выполнять все необходимые правила по его эксплуатации. Постоянная и точная работа оборудования позволяет поддерживать производительность с отклонением от номинальной на 3–5%, что является хорошим показателем для работы упаковочного оборудования кондитерских предприятий.

## Литература

1. Голуб Н. С., Кулак М. И. Надежность кондитерского упаковочного оборудования // Труды БГТУ. 2014. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 42–47.
2. Бобров В. И. Надежность технических систем. М.: МГУП, 2004. 236 с.
3. Олейникова А. Я., Магомедов Г. О. Проектирование кондитерских предприятий. СПб.: Книга, 2005. 416 с.

Поступила 28.09.2014