

УДК 664.656.3

Поступление хлебобулочных изделий на участок охлаждения. Оптимизация на основе модели системы массового обслуживания

Канд. техн. наук В. Б. ДАНИН¹, А. С. ПАСТУХОВ²
¹info@refriger.ru, ²artem.pastukhov1984@gmail.com
Университет ИТМО
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Возникающие в процессе изготовления хлебобулочной продукции производственные ситуации приводят, в одних случаях, к образованию очередей, поступающих на участок охлаждения, изделий, а в других — к простоем специализированного технологического оборудования, применяемого на этом участке. Несмотря на наличие на предприятиях средств автоматизации и механизации, не всегда указанные проблемы могут быть решены с помощью современных систем автоматического контроля и регулирования. Поэтому, при математическом описании процессов поступления свежеспеченных хлебобулочных изделий на охлаждение на спиральные конвейерные установки возникает необходимость применения вероятностных моделей теории массового обслуживания. В данной статье процесс поступления партий хлебобулочных изделий на спиральный кулер рассмотрен с точки зрения системы массового обслуживания с ограниченным ожиданием. Представлены полученные расчетные зависимости математического ожидания числа поступлений партий продукции на охлаждение, а также интенсивность и вероятность их поступления. Полученные уравнения могут быть применены для прогнозирования планируемой интенсивности поступления на участок охлаждения свежеспеченной продукции различного ассортимента с учетом и допустимого времени пребывания в очереди-буфере и достаточно высокой пропускной способности спирального конвейера, причем поток поступления партий хлебобулочных изделий рассмотрен как нестационарный пуассоновский, так и стационарный.

Ключевые слова: система массового обслуживания, охлаждение хлебобулочных изделий, спиральный кулер.

Arrival of bakery products on a cooling section. Optimization on the basis of queuing system model

Ph. D. V. B. DANIN¹, A. S. PASTUKHOV²
¹info@refriger.ru, ²artem.pastukhov1984@gmail.com
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Situations arising during the manufacture of bakery products in some cases lead to the formation of queues at the entrance of the cooling section, and in the other ones — to the downtime of specialized technological equipment. Despite the availability of automation and mechanization tools, these problems cannot always be solved by modern automatic control and regulation technique. Therefore, in the mathematical description of the entering of freshly baked bakery products to the cooling spiral conveying systems it is necessary to use probabilistic models of queuing theory. In this article the process of entering parties of bakery products to the spiral cooler is considered from the perspective of a queuing system with limited expectation. The obtained estimates depended on the expectation of income batches for cooling, as well as the intensity and the probabilities of their appearance are discussed. The resulting equations can be used to predict the intensity of the planned entry of the freshly baked products of various ranges into the cooling section taking into account the allowable time queuing buffer and a sufficiently high bandwidth spiral conveyor, with the flow proceeds parties bakery products being considered both as non-stationary Poisson flow and stationary one.

Keywords: queuing system, cooling of bakery products, spiral cooler.

Предъявляемые в настоящее время требования к микробиологической безопасности хлебобулочных изделий вызывают необходимость упаковывать их в пленку. В свою очередь упаковка в пленку возможна лишь при достаточно низкой температуре продукта. С другой стороны интенсификация процесса охлаждения приводит к увеличению скорости испарения влаги из продукта, в то время как усушка продукта строго нормирована [1]. Этот факт, а также увеличение объемов производства

хлебобулочной продукции, приводит к ужесточению требований к качеству функционирования технологического оборудования, в том числе и спиральных конвейерных систем охлаждения свежеспеченных изделий [2].

Сложность конструкций автоматических кулеров, по сравнению с другими видами оборудования, объясняется особенностями протекающих в них многочисленных процессов: тепло- и массопереноса [3]. Процесс охлаждения осуществляется следующим образом: с техно-

логического оборудования продукт попадает на конвейер спиральной конвейерной системы непосредственно или по дополнительному приемному транспортеру. Движение ленты и постепенное ее закручивание в спираль происходят плавно без рывков с постоянной скоростью, что обеспечивает неизменное расположение на ней продукта за время прохождения по всем ярусам — с нижнего до верхнего. С верхнего яруса охлажденная продукция ссыпается или в приемный бункер или подается по дополнительному транспортеру на весовой стол или фасовочный аппарат. Правильный выбор конструкции кулера имеет определенное значение для успешной работы хлебопекарного предприятия, т. к. его производительность, эксплуатационная надежность и энергетические характеристики определяют время охлаждения и экономические показатели работы [4].

Достоинствами спиральных транспортирующих устройств, по сравнению с традиционными способами хранения, являются:

- экономия полезной площади помещения;
- бережное обращение с продуктом;
- сокращение времени получения готового продукта;
- повышение производительности и эффективности производства;
- оптимизация затрат;
- организация непрерывного технологического процесса.

Таким образом, использование спиральных конвейерных систем позволяет решить несколько задач одновременно [5].

Система автоматического контроля и регулирования процесса охлаждения основывается на том, что текущее значение регулируемых параметров в блоке рассогласования сравнивается с заданными значениями соответствующих параметров, и формируются сигналы рассогласования, которые усиливаются до значений, достаточных для срабатывания исполнительных механизмов, обеспечивающих работу регулирующих органов. Данные для вычисления основываются на экспериментальных исследованиях и математическом моделировании [6, 7].

Тем не менее, время поступления хлебобулочной продукции на кулеры, во многих случаях, отклоняется от расчетного по многим причинам, не предусмотренным технологическим расписанием. Кроме того, время охлаждения, зависящее от ряда возмущающих факторов, также является случайной величиной. В связи с этим процесс охлаждения на спиральном кулере происходит нерегулярно, что приводит в одних случаях к образованию очередей поступающих изделий, а в других — к простоям кулеров. Поэтому, для описания процессов поступления свежеспекаемых хлебобулочных изделий на охлаждение на спиральных конвейерных системах необходимо пользоваться вероятностными моделями.

При осуществлении операции охлаждения поступившей из печи хлебобулочной продукции в отдельные периоды времени возникают ситуации, когда загрузка кулеров существенно возрастает. Соответственно увеличивается очередь партий продукции в буферных зонах конвейерной линии и, как следствие, возрастает среднее время ожидания изделия в очереди.

Такая ситуация может привести не только к экономическим потерям, но и к возникновению аварийных ситуаций [8]. В таких случаях оператор участка охлаждения должен либо увеличивать интенсивность охлаждения, либо передавать отдельные партии продукции на охлаждение на другие кулеры.

Формализация таких ситуаций приводит к рассмотрению систем массового обслуживания с ограниченным (смешанным) ожиданием.

Работа любой модели массового обслуживания представляется в виде системы, на вход которой поступает поток партий свежеспекаемых хлебобулочных изделий с заданной интенсивностью $\lambda(t)$. В зависимости от плотности $\mu(t)$ и характера потока поступлений продукции на охлаждение система с некоторыми вероятностями $P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)$ может находиться в различных n возможных состояниях в любой момент времени t [9].

Потоки поступления чаще всего являются нестационарными (потоки Пуассона). Нестационарный пуассоновский поток обладает следующими свойствами:

1. Случайные события, образующие поток, подчиняются закону Пуассона с параметром, зависящим как от длины временного промежутка, в течение которого наблюдается поток, так и от его расположения на временной оси, т. е.

$$P_k(\tau, t_0) = \frac{a^k}{k!} e^{-a},$$

где $P_k(\tau, t_0)$ — вероятность появления k событий на промежутке $(t_0, t_0 + \tau)$;

a — математическое ожидание числа событий (поступлений партий изделий на охлаждение) на промежутке $(t_0, t_0 + \tau)$, определяемое по формуле:

$$a = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \lambda(t) dt,$$

где λ — параметр потока (интенсивность поступления партий свежеспекаемых хлебобулочных изделий на охлаждение).

2. Закон распределения промежутков времени между соседними поступлениями продукции на охлаждение выражением вида:

$$\varphi_{t_0}(t) = \lambda(t_0 + t) e^{-\int_{t_0}^{t_0 + t} \lambda(t) dt},$$

где t_0 — время появления первого из соседних событий (поступлений партий свежеспекаемых изделий).

3. Мгновенная интенсивность потока совпадает с мгновенным значением его параметра, т. е. $\mu(t) = \lambda(t)$ [10].

Если потоки поступления партий продукции на охлаждение рассматривать как простейшие, то определение искомых вероятностей в таких случаях значительно упрощается.

Так как вероятности появления точно заданного числа поступлений партий свежеспекаемых изделий на охлаждение простейшего потока определяются распределением Пуассона, то такие потоки называются стационарными пуассоновскими потоками с математическим ожиданием числа поступлений партий на охлаждения равным:

$$a = \lambda(t).$$

Вероятность того, что за время t поступает k партий, определяется по формуле Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda k)^k}{k!} e^{-\lambda k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Закон распределения промежутков времени между последовательными поступлениями партий продукции в этом случае определяется выражением

$$\varphi(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

а плотность вероятности промежутков времени от начала начального до k -го поступления равна

$$\varphi_k(t) = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t_k)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t_k},$$

т. е. представляет собой гамма-распределение — двухпараметрическое семейство абсолютно непрерывных распределений.

Выполнение расчетов по приведенным выше формулам позволяет руководству участка охлаждения хлебобулочных изделий решать задачи прогнозирования планируемой интенсивности поступления свежеспекаемой продукции с учетом допустимого времени пребывания в очереди-буфере и достаточно высокой пропускной способности спирального конвейера. Если во время указанного периода интенсивность поступления продукции увеличивается по сравнению с планируемой, то оператор передает определенные партии продукции на другой кулер.

Список литературы

1. Пастухов А. С., Данин В. Б. Общие сведения об охлаждении хлеба // Известия СПбГУНиПТ. 2007. № 1. С. 37–41.
2. Пастухов А. С., Данин В. Б. Современные методы борьбы с усушкой хлебобулочных изделий // Известия СПбГУНиПТ. 2006. № 1. С. 88–90.
3. Данин В. Б., Пастухов А. С. Механизм естественного усыхания хлебобулочных изделий. Борьба с потерей массы продукта // Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1.
4. Пастухов А. С., Данин В. Б. Процесс конвективного охлаждения хлебобулочных изделий как объект исследования // Известия СПбГУНиПТ. 2008. № 2. С. 17–18.
5. Шамшин А. С., Сагдеев А. А. Использование спиральных конвейерных устройств для снижения продолжительности процесса охлаждения и усушки хлебобулочных изделий. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 1. С. 138–140.
6. Данин В. Б., Пастухов А. С. Разработка вычислительной системы параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий на основе математического моделирования // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1. С. 22.
7. Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling. В сборнике: 6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, FOODBALT-2011-Conference Proceedings 2011. С. 209–214.
8. Русинов И. А. Применение теории массового обслуживания для оценки пропускной способности специализированных терминалов. // Эксплуатация морского транспорта. 2009. № 3. С. 3–5.
9. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания. — М.: Наука, 1966.
10. Господариков А. П., Хачатрян С. А., Киборт А. Н. Использование элементов теории массового обслуживания при решении задач надежности транспортных систем. // Горный информационно-аналитический бюллетень 2007. № 5. С. 324–327.

References

1. Pastukhov A. S., Danin V. B. General information about bread cooling. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2007. No 1. p. 37–41. (in Russian).
2. Pastukhov A. S., Danin V. B. The modern methods of fight against shrinkage of bakery products. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2006. No 1. p. 88–90. (in Russian).
3. Danin V. B., Pastukhov A. S. Mechanism of a natural usykhanie of bakery products. Fight against loss of mass of a product. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2009. No 1. (in Russian).
4. Pastukhov A. S., Danin V. B. Process of convective cooling of bakery products as object of research. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2008. No 2. p. 17–18. (in Russian).
5. Shamshin A. S., Sagdeev A. A. Use of spiral pipeline devices for lowering of duration of process of cooling and shrinkage of bakery products. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15. No 1. p. 138–140. (in Russian).
6. Danin V. B., Pastukhov A. S. Development of the computing system of parameters of process of cooling of bakery products on the basis of mathematical simulation. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2012. No 1. p. 22. (in Russian).
7. Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling. *6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production*, FOODBALT-2011-Conference Proceedings 2011. p. 209–214.
8. Rusinov I. A. Queuing theory application for an assessment of carrying capacity of specialized terminals. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. 2009. No 3. p. 3–5. (in Russian).
9. Gnedenko B. V. Introduction in the queuing theory. — Moscow: Nauka, 1966. (in Russian).
10. Gospodarikov A. P., Khachatryan S. A., Kibort A. N. Use of elements of the queuing theory in case of the solution of tasks of reliability of transport systems. *Gorniy informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2007. No 5. p. 324–327. (in Russian).