

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ РАБОТЫ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

Китун А.В., д.т.н., профессор,  
Бондарев С.Н., аспирант,  
Романович А.А., к.т.н., доцент,  
Сапожников Ф.Д., к.т.н., доцент

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь.*

**Постановка проблемы.** К современным производственным процессам предъявляются требования по достижению наибольшей непрерывности, безопасности, гибкости и производительности при одновременном обеспечении оптимального управления производством, повышении качества и снижении себестоимости выпускаемой продукции. Эти требования могут быть успешно выполнены при соответствующем совершенствовании производственных процессов в ходе их развития путем все более полной замены труда человека машинным трудом [1].

**Основные материалы исследования.** При поточной организации производственного процесса продукт, полученный в результате работы предыдущей машины, является исходным материалом для последующей. В этом случае операции на всех рабочих местах выполняются в промежутки времени, равные или кратные ритму потока при непрерывном движении обрабатываемого продукта.

**Ритмом  $r$** , или шагом, потока поточной линии называется интервал времени, через который поточная технологическая линия или отдельная машина выпускает единицу готовой продукции, т.е.  $r_{ш} = t_{оп}/N_{оп}$  (здесь  $N_{оп}$  – наработка за установленное операционное время  $t_{оп}$ ).

**Тактом**, или темпом потока, называется величина, обратная ритму. Такт характеризует интенсивность работы ПТЛ, показывая, сколько единиц готовой продукции линия выпускает за установленную единицу времени.

При *непрерывном потоке* величина такта и ритма единая для всех операций процесса, при *прерывном* такт и ритм различны для отдельных звеньев, поэтому для каждого звена процесса необходимо произвести самостоятельный их расчет. Размер такта и ритма, установленный для звена, тождествен для всех операций, входящих в него.

При оценке работы машин и технологического оборудования *производительность* рассматривается в качестве основного технико-

экономического показателя, позволяющего судить об эффективности использования технических средств в данном технологическом процессе.

Производительность машин в процессе эксплуатации не остается постоянной величиной. Она зависит от организации производства, качества исходного сырья, освоения техники, условий ее эксплуатации и ряда других факторов. В связи с этим в расчетах различают следующие виды производительности.

*Теоретическая производительность*  $Q_T$ . Представляет собой расчетное или плановое количество продукции, получаемой за единицу времени. Для машин, обеспечивающих технологические процессы, не связанные с непосредственными воздействиями на животных, теоретическую производительность определяет с помощью конструктивных параметров и установленного кинематического режима, поэтому ее иногда называют *расчетной*, или *номинальной*.

Для машин, непосредственно контактирующих с животными, теоретическая производительность часто не поддается строгому аналитическому расчету. В этих случаях за основу принимают производственную программу и плановую продуктивность животных, установленные с учетом ранее достигнутых производственных показателей (надоя молока).

*Технологическая производительность*  $Q_{тех}$  обусловлена количеством продукции, получаемой за единицу времени, т.е. за час чистой работы машины. При этом не учитываются затраты времени на остановки и холостой ход.

Технологическая производительность за час чистой работы является *действительной*, а не расчетной, так как ее определяют экспериментально по результатам государственных испытаний на МИС и обычно указывают в технических характеристиках машин.

*Цикловая производительность*  $Q_{ц}$  машины характеризуется количеством продукции, полученной за единицу времени цикла.

*Техническую производительность*  $Q_{тех}$  находят с учетом затрат времени на остановки. Обусловленные необходимостью проведения технического обслуживания и подготовительно-заключительных операций при исправном, работоспособном состоянии машины.

*Операционную производительность*  $Q_{оп}$  определяют с учетом всех потерь времени: на подготовительно-заключительные операции, техническое обслуживание и простои по организационно-техническим и другим причинам. Ее часто называют *фактической*  $Q_{ф}$  или *эксплуатационной*  $Q_э$  [2].

Производительность поточной линии можно представить в виде, удовлетворяющем условию потока:

$$Q_{np} = \sum_{j=1}^{n_i} q_{ij} \eta_{ij} \leq \sum_{j=1}^{n_{i+1}} q_{(i+1)j} \eta_{(i+1)j}, \quad (1)$$

или в приведенном виде для расчета каждого звена потока получаем:

$$Q_{\text{пр}} = \kappa_{\text{м}} q \eta, \quad (2)$$

где  $\kappa_{\text{м}}$  – число машин, шт;  $q$  – производительность машин, т/час;  $\eta$  – коэффициент использования рабочего времени машины.

Ритм поточной линии определяем из отношения:

$$r = \frac{1}{Q_{\text{пр}}}. \quad (3)$$

Зная производительность поточной линии и машин звена потока, определяем потребность в них:

$$\kappa_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{q \eta}. \quad (4)$$

Для вновь проектируемых поточных линий производительность машин находим из уравнения:

$$q = \frac{Q_{\text{пр}}}{\kappa_{\text{м}} \eta}. \quad (5)$$

Так как производительность машин в звеньях потока не всегда удается уравнивать, то следует придерживаться ее кратности производительности основного базового звена.

На выгоднейшее использование производительности машин в звене потока получаем в том случае, когда *коэффициент потока* равен 1:

$$K_n = \frac{Q_{\text{пр}}}{\kappa_{ij} q_{ij} \eta_{ij}} \approx 1. \quad (6)$$

Используются так же показатели, характеризующие надежность машин и технологического процесса – *коэффициенты готовности и технического использования машин и оборудования*.

Вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается, называется *коэффициентом готовности*:

$$K_r = \frac{t}{t + t_{\text{в}}}, \quad (7)$$

где  $t$  – наработка на отказ, час;  $t_{\text{в}}$  – среднее время вынужденных простоев на ремонт отказов, час.

Так как коэффициент готовности является величиной случайной, зависящей от фактического времени работы производственных звеньев, то для определения, можно воспользоваться понятием геометрической вероятности. Интегральный закон распределения этой случайной величины можно определить из выражения:

$$F(K_u) = P(K_r \leq K_{rj}) = \begin{cases} 0, T_\phi < 0 \\ \frac{T_\phi^2}{T_p^2}, 0 \leq T_\phi < T_p \\ 0, T_\phi > T_p \end{cases} \quad (8)$$

где  $P$  - вероятность разрыва технологического цикла;  $K_r$  - коэффициент готовности совокупности машин технологического цикла;  $K_{rj}$  - коэффициент готовности машин производственного звена;  $T_\phi$  - фактическое время работы совокупности машин технологического цикла;  $T_p$  - расчетное время работы совокупности машин технологического цикла.

Плотность распределения коэффициента готовности:

$$f(K_r) = \begin{cases} 0, T_\phi < 0 \\ \frac{2T_\phi}{T_p^2}, 0 \leq T_\phi < T_p \\ 0, T_\phi > T_p \end{cases} \quad (9)$$

Тогда вероятность разрыва технологического процесса можно определить по формуле:

$$P_{т.ц.} = 1 - \left\{ C_{kj}^{K_{jp}} (K_r \leq K_{rj})^{K_j} [1 - P(K_r \leq K_{rj})]^{K_j - K_j} \right\}, \quad (10)$$

где  $C_{kj}$  - стоимость простоя машин;  $k_j$  - число машин, каждого производственного звена;  $K_{rj}$  - минимальное допустимое число машин в производственном звене, обеспечивающее непрерывность технологического цикла.

Анализ формулы (10) показывает, что вероятность разрыва технологического процесса кормления животных зависит от числа машин в каждом производственном звене и коэффициента их готовности.

Тогда производительность производительного потока, обеспечивающего непрерывность процесса кормления животных, определим по формуле

$$Q = \frac{q}{T_p \cdot d \cdot 1 - \left\{ c_{kj}^{K_{jp}} (K_r \leq K_{rj})^{K_j} [1 - p(K_r < K_{rj})]^{K_j - K_j} \right\}}. \quad (11)$$

Отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации есть коэффициент технического использования. Он определяется для отдельной машины по формуле

$$\eta_{\Gamma} = \frac{\sum t_z}{\sum t_z + t_p + t_{об}}, \quad (12)$$

где  $\sum t_z$  – суммарная наработка рассматриваемого промежутка времени, час;  $t_p$ ,  $t_{об}$  – соответственно время на устранение простоев, связанных с ремонтом и техобслуживанием, час.

Коэффициент технического использования всего комплекта оборудования может быть определен через коэффициенты технического использования каждой машины, входящей в комплект. Определить время простоев каждой машины комплекта оборудования на стадии его проектирования затруднительно. Решать эту задачу целесообразнее методами теории вероятностей. Для такого решения необходимо иметь большой набор статистических данных о частоте простоев, законе их распределения [3].

Формула (12) с учетом средних простоев примет вид:

$$\eta_{\Gamma.и} = \frac{\sum t_z}{\sum t_z + K_M (t_{ср.пр} + t_{ср.об})}, \quad (13)$$

где  $t_{ср.пр}$ ,  $t_{ср.об}$  – соответственно, среднее время на устранение простоев по техническим причинам и техобслуживанию машин, входящих в комплект оборудования, час;  $K_M$  – количество машин в комплекте, шт.

Поскольку в комплекте оборудования для механизации технологических процессов в потоке будут, в основном, применяться смешанные связи между машинами и линиями, коэффициент технического использования будет несколько выше. В этом случае комплект оборудования будет простаивать только тогда, когда выйдут из строя машины, соединенные жесткой связью. Это машины линии смешивания, раздачи кормов и те, которые жестко соединены с линией смешивания.

Коэффициент технического использования комплекта оборудования со смешанными связями примет вид:

$$\eta_{\Gamma.и} = \frac{\sum t_z}{\sum t_z + K_{M.ж} t_{ср.пр} + K_M t_{ср.об}}, \quad (14)$$

где  $K_{M.ж}$  – количество машин с жесткой связью, шт.

Учитывая вышесказанное, фактическую производительность любого комплекта оборудования на стадии проектирования можно определить:

$$Q = \frac{B_{\phi}}{t} \cdot \eta_{\Gamma.и}, \quad (15)$$

где  $B_{\phi}$  – продукция, полученная за смену, кг;  $t$  – сменное время, час.

Принимая это во внимание, *условие непрерывности* поточной линии можно записать так:

$$\frac{V_{\Phi i}}{\sum_{j=1}^{K_i} q_{ij} \eta_{ij}} \geq \frac{V_{\Phi(i+1)}}{\sum_{j=1}^{K_{i+1}} q(i+1) j \eta(i+1) j}, (i = 1, 2, 3), \quad (16)$$

Из формулы видно, что время пребывания продукта, тормозящего процесс внутри машины каждого последующего звена, должно быть меньше или равно времени предыдущего звена потока. Для оценки технологических линий необходимо знать фактическую производительность. Особенно важно знать фактическую производительность при концентрации отрасли, что объясняется большими ущербами в случае отказов оборудования, сложностью его эксплуатации и т.п.

**Результаты исследований и выводы.** Анализ трудового процесса позволяет определить наиболее рациональное его построение. Анализируя характер выполнения движений следует найти наиболее оптимальное движение с точки зрения затрат времени и усилий, приложенных к их выполнению. В результате такого анализа может возникнуть необходимость исключения отдельных трудовых приемов и движений из трудового процесса, внести изменения в отдельные движения, сократить траекторию.

### ***Список использованной литературы***

1. Китун А. В., Передня В. И., Романюк Н. Н. Машины и оборудование в животноводстве: уч. пособие. Минск, ИВЦ Минфина 2016, 382 с., с. 224–225.
2. Передня В. И., Шаршунов В. А., Китун А. В. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока: пособие. Минск, Минсанта, 2016. С. 271–272
3. Китун А. В., Передня В. И., Романюк Н. Н. Машины и оборудование в животноводстве: учебник. Минск: БГАТУ, 2019. 504 с.