ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

№ 4 ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ 1958

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ЗАГОТОВОК НА СТЫКАХ ОПЕРАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ В АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ ПО ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

В. И. САНЕВ

Инженер

(Ленинградская лесотехническая академия)

Анализ * работы автоматических линий в производственных и лабораторных условиях показывает, что во всех случаях производительность обработки на операционных участках отклоняется от производительности подачи заготовок на участки. Величина этого отклонения переменна во времени и является следствием влияния внешних и внутренних возмущений системы. В целях увеличения коэффициента использования оборудования, учитывая возможные колебания производительностей, на стыках операционных участков целесообразно создавать запасы заготовок. Последние следует устанавливать внутри линии:

а) в местах с явно выраженным изломом в технологии обработки;

б) в местах перехода от сплошного потока к дискретному;

в) в местах перехода от дискретного потока к сплошному.

Запас заготовок должен определяться величиной и длительностью отклонения производительности подачи от производительности обработки. В деревообрабатывающих автоматических линиях запас ни в коем случае не должен компенсировать временный выход из строя одного из операционных участков линии, так как в этом случае при значительных скоростях резания и подачах в деревообрабатывающих станках для создания запаса потребовались бы большие и громоздкие емкости.

Роль запасов заготовок, сконцентрированных на стыках участков линии, аналогична роли маховиков с неустановившимся движением. В тех случаях, когда несоответствие в производительностях на смежных участках значительно и сохраняется длительное время, при помощи запасов нельзя установить необходимую согласованность в период работы участков. В данном случае целесообразно прибегать к автоматическому регулированию производительностей.

Правильный выбор объема запаса имеет большое практическое значение как в стадии проектирования, так и в стадии эксплуатации автоматических линий.

---

* Работа проводилась под руководством проф. А. Э. Грубе.

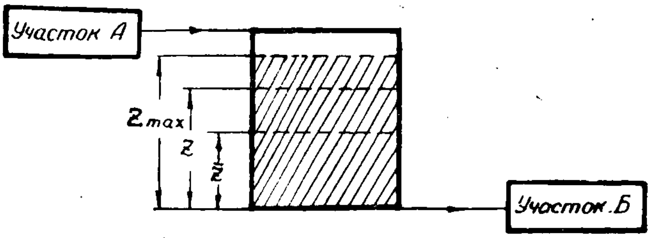


Рис. 1. Принципиальная схема автоматической линии, состоящей из двух операционных участков:

z_{max} — максимальный запас заготовок в магазине; z — текущий запас заготовок в магазинах; $\bar{z}$ — средний запас заготовок в магазине.

В настоящей статье делается попытка теоретического исследования вопроса о величине оптимального запаса заготовок на стыках операционных участков линии.

Работа в целом была направлена на изучение условий, обеспечивающих бесперебойную работу автоматических линий.

Величина оптимального запаса заготовок определялась в предположении, что изменение производительности труда на операционных участках описывалось:

а) элементарной моделью (синусоидой);

б) вероятностным законом.

Поставленную задачу удобно решать в условиях работы двух операционных участков. Принципиальная схема связи двух участков в линию изображена на рис. 1.

Считаем, что участки А и Б работают нормально, если их средние производительности равны, то есть

$$\Pi^{А}_{ср} = \Pi^{Б}_{ср}$$

Сравнивая работу двух смежных участков А и Б на рис. 1, можно отметить пять основных возможных случаев их совместной работы, а именно:

1. $\Pi^{А} = \Pi_{ср} = \Pi^{Б}$
2. $\Pi^{А} > \Pi_{ср} < \Pi^{Б}$
3. $\Pi^{А} < \Pi_{ср} > \Pi^{Б}$
4. $\Pi^{А} < \Pi_{ср} < \Pi^{Б}$
5. $\Pi^{А} > \Pi_{ср} > \Pi^{Б}$

а) Определим величину запаса заготовок, исходя из предположения, что производительности участков изменяются во времени по синусоидальному закону.

Предполагаем, что средняя производительность линии равна фактической производительности участка Б, то есть

$$\Pi^{А} \neq \Pi_{ср} = \Pi^{Б}.$$

Самым неблагоприятным законом изменения производительности участка А в этом случае следует считать такой, когда за период $0 \div t_2$ (рис. 2) в течение времени t_2 участок выдает излишек заготовок, а в течение периода $t_2 - t_1$ работает в режиме недостаточной производитель-

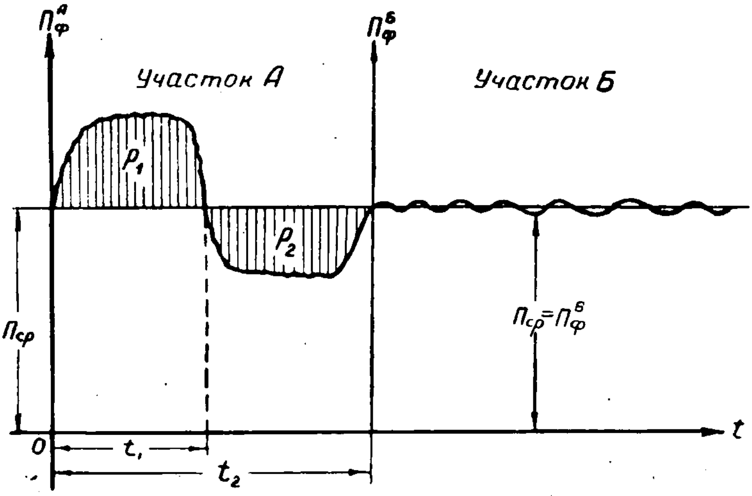


Рис. 2. График изменения производительности по операционным участкам.

$П$ср — средняя производительность линии; t_1—время работы участка А в режиме избыточной производительности; $t_2—t_1$ — время работы участка А в режиме недостаточной производительности; p_1 — количество излишних заготовок, p_2—количество недостающих заготовок.

ности. Если предположить, что кривая изменения производительности близка к синусоиде (рис. 2), то есть

$$\Delta П = C \sin \omega t, \qquad (*)$$

где $\Delta П$ — изменение производительности на операционном участке (в данном случае на участке А),

C — величина наибольшего отклонения от среднего значения производительности.

Тогда можно принять, что $p_1 = p_2$, то есть количество недоданных заготовок во второй период равно количеству излишних заготовок, выданных в первый период.

Минимальный запас заготовок на стыке участков может быть выражен площадью, ограниченной полуволной синусоиды и линией, определяющей среднюю производительность.

Для определения данного запаса проинтегрируем выражение (*) в пределах $0 \div t_1$:

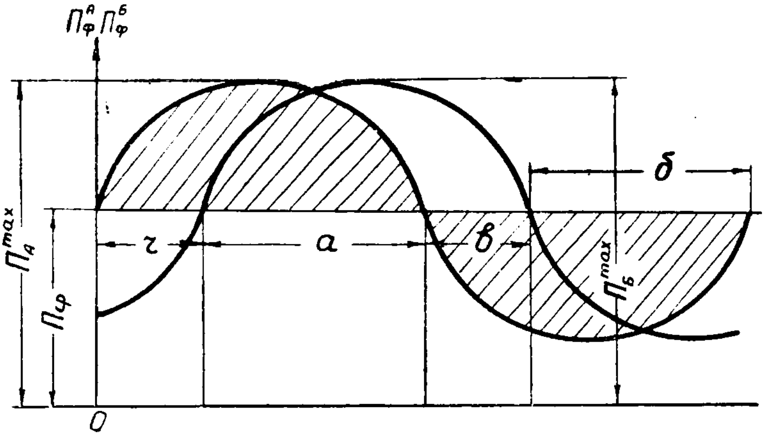
$$z = C \int_0^{t_1} \sin \omega t dt.$$

Выполняя интегрирование, получим:

$$z = -\frac{C}{\omega} \cdot \cos \omega t \Big|_0^{t_1} = \frac{2C}{\omega}.$$

Принимая, что период равномерной производительности равен периоду синусоидального колебания и равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$



$$П_А^{max} \neq П_Б^{max}; \quad П_А^{min} \neq П_Б^{min}; \quad \Delta П_А = C_1 \sin 10t; \quad \Delta П_Б = C_2 \sin 10t.$$

Рис. 3. График синусоидального изменения производительности на двух участках линии.

$П_{ср}$ — среднее значение производительности; $П^А_{max}$ — максимальное значение производительности участка А; $П^Б_{max}$ — максимальное значение производительности участка Б; *а, б, в, ч,* — диапазоны противоположных и одноименных значений производительности.

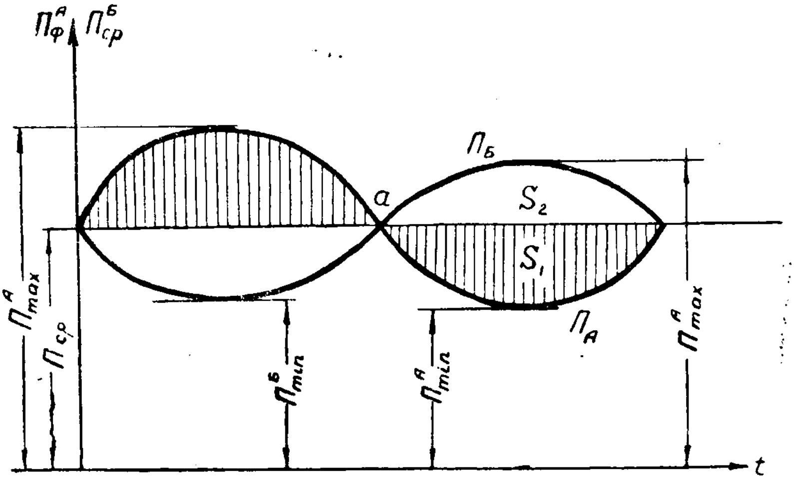


Рис. 4. График к расчету минимального запаса.

$П_{ср}$ — среднее значение производительности; $П_{max}$ — максимальное значение производительностей; $П_{min}$ — минимальное значение производительностей; S_1, S_2 — площади сегментов.

получим окончательно:

$$z_0 = \frac{C \cdot T}{\pi},$$

где z_0 — оптимальное значение запаса заготовок.

Далее предположим, что оба работающие участка меняют свою производительность по синусоидальным законам. Принципиальная схема работы участков в данном варианте представлена на рис. 3. Сравнивая на графике структуру отдельных случаев, убеждаемся, что самым неблагоприятным с точки зрения опустошения магазина является случай:

$$П^{А} < П_{ср} < П^{Б}$$

Согласно рис. 4 величина минимального запаса в этом случае равна сумме площадей $S_1 + S_2$.

По аналогии с ранее полученной зависимостью можно записать

$$S_1 = \frac{C_1 \cdot T_1}{\pi}.$$

$$S_2 = \frac{C_2 \cdot T_2}{\pi}.$$

Величина оптимального запаса при этих условиях будет равна:

$$z_0 = \frac{1}{\pi}(C_1 T_1 + C_2 T_2).$$

Величины C_1, C_2, T_1 и T_2 должны быть известны из опыта. Учитывая, что при работе участков возможны случайные отклонения производительностей, превышающие величину C_1 или C_2, в полученную формулу следует ввести коэффициент запаса, тогда формула для определения оптимальной величины запаса примет вид:

$$z_0 = \frac{k}{\pi}(C_1 T_1 + C_2 T_2).$$

Предварительно можно рекомендовать

$$k = 1{,}1 \div 1{,}25.$$

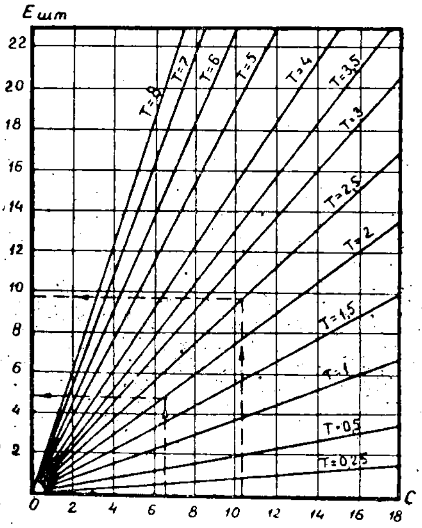


Рис. 5. Зависимость минимальной емкости магазина от периода равномерной производительности и величины наибольшего отклонения от средней производительности.

На рис. 5 приведен график изменения минимального запаса заготовок в зависимости от величины C и T.

Рассмотрим числовой пример: Пусть из опыта известно, что

$$C_1 = 10{,}2 \qquad T_1 = 2{,}5$$
$$C_2 = 6{,}4 \qquad T_2 = 2{,}0$$

По графику на рис. 5 определяем с округлением в большую сторону до целых единиц для первого участка

$$E_1 = 10;$$

для второго участка

$$E_2 = 5.$$

Тогда оптимальный запас заготовок равен: $z_0 = E_1 + E_2 = 15$.

б) Определим величину запаса заготовок, исходя из предположения, что производительности участков изменяются во времени по вероятностному закону. Такое рассмотрение является более общим, чем предыдущее.

С целью установления вероятностного закона изменения производительности участков, рассмотрим представленный на рис. 6 модельный график.

Вертикальными линиями на графике отмечены примерные границы участков равномерной производительности. Горизонтальными линиями отмечены минимальные и максимальные производительности на автоматической линии, состоящей из двух операционных участков.

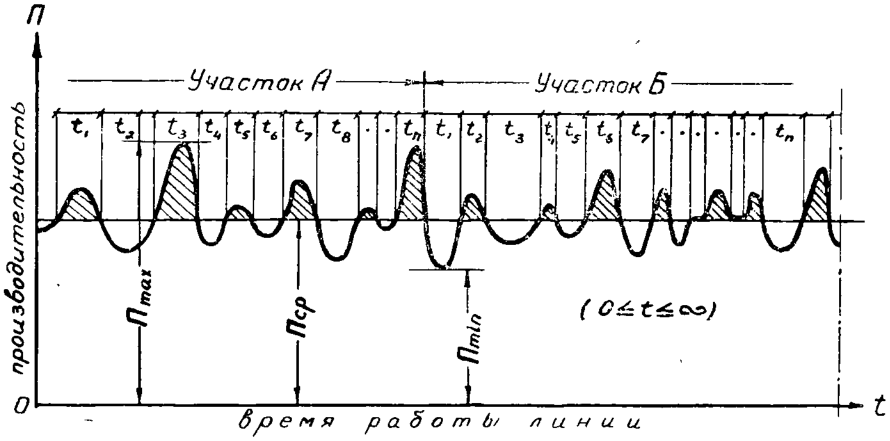


Рис. 6. Принципиальный модельный график изменения производительности по участкам автоматической линии.

$П_{ср}$ — средняя производительность; $П_{max}$, $П_{min}$ — максимальная и минимальная производительности; t_1, t_2, . . . , t_n — длительность обработки на микроучастке с равномерной производительностью (с учетом микропростоев).

Можно предполагать, что в пределах длительности работы автоматической линии распределение плотности вероятности длительностей обработки на микроучастках с равномерной производительностью и микропростоями, отвечает гистограмме, которая приведена на рис. 7. Аппроксимируя практическую гистограмму теоретической кривой, которая на графике нанесена пунктиром, можно вероятностный закон работы линии записать в форме показательной кривой

$$y = A \cdot e^{-xa}.$$

С учетом того, что теоретическая кривая на рис. 7 представляет собой распределение плотностей вероятности события, окончательно вероятностный закон работы автоматической линии можно представить в форме экспоненты

$$p(t) = k \cdot e^{-kt},$$

где $p(t)$ — плотность вероятностей длительности обработки на микроучастках с равномерной производительностью (с учетом микропростоев);

t — длительность обработки на микроучастке с равномерной производительностью (с учетом микропростоев);

$k = \frac{1}{t}$ — характеристика экспоненты.

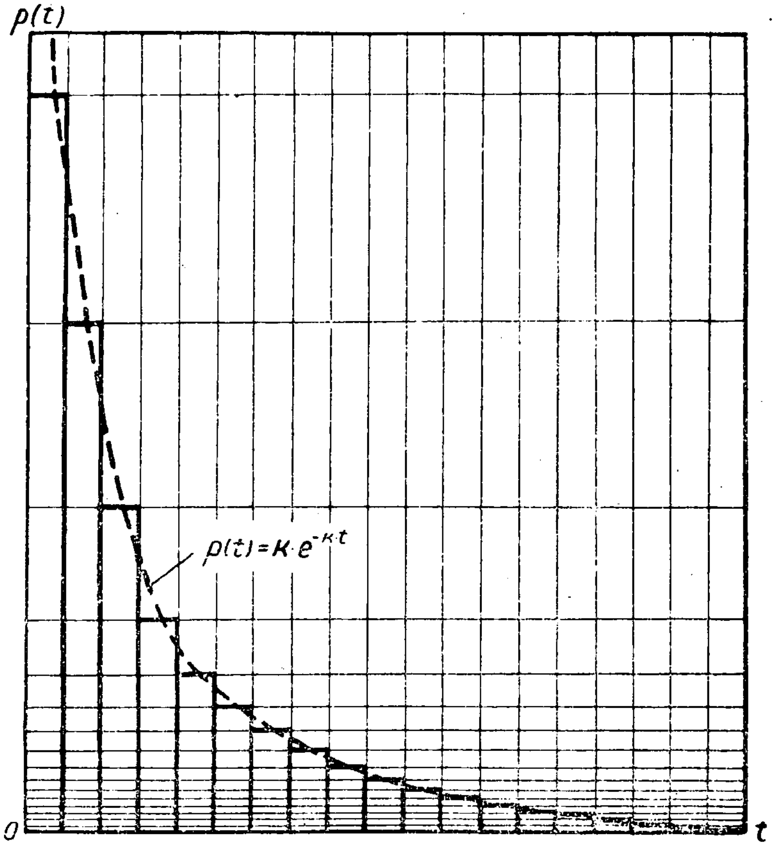


Рис. 7. Гистограмма распределения плотности вероятности длительностей обработки на микроучастках с равномерной производительностью (с учетом микропростоев).

Введем следующие обозначения:

z — текущая величина запаса заготовок;

z_n — запас заготовок в прошлом;

z_{max} — максимальный запас;

$\bar{z}$ — средняя величина запаса;

τ — среднее значение интервала выхода заготовок с автоматической линии.

Для решения поставленной задачи удобно указанные значения запасов связать с интервалом выпуска заготовок с автоматической линии, вводя

$z\tau$ — уровень запаса заготовок в данный момент, накопляющегося за время τ;

$(z_{max}\tau)$ — максимальный запас заготовок, накопляющийся за время τ;

$(z_n\tau)$ — запас заготовок в прошлом, накопленных за время τ;

$\Delta П$ — величина отклонения производительности участка линии от среднего значения производительности автоматической линии $П$.

Предварительно определим вероятность единичного состояния автоматической линии. Для этой цели предположим, что работающие

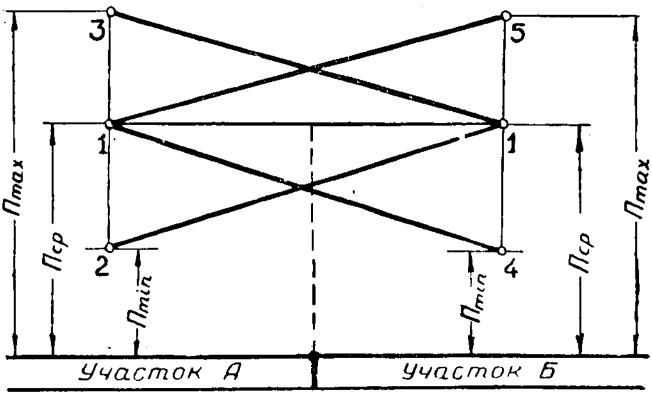


Рис. 8. Точечная схема для определения вероятности единичного состояния автоматической линии.

участки равноценны и совмещение во времени рассматриваемых событий одновременно невозможно на двух участках. Из точечной схемы (рис. 8) видно, что возможны четыре состояния автоматической линии при принятых выше условиях. Исходя из основного определения вероятности, в дальнейшем можно принять вероятность появления одного из событий равной:

$$p_c = \frac{1}{4} P(x)$$

Анализируя работу участков автоматической линии, можно отметить следующие состояния запаса заготовок в магазине:

1) магазин пуст $z = 0$;
2) магазин заполнен $z = z_{max}$;
3) запас заготовок находится на уровне $0 \leqslant z \leqslant z_{max}$.

Представляет значительный интерес рассмотрение двух первых случаев, так как фактически они определяют в итоге нормальный ход работы участков.

Для отмеченных состояний запаса введем вероятностные функции:

1) P_0 — вероятность магазину быть пустым;
2) $P(z_{max})$ — вероятность магазину быть полным;
3) $P_x(z)$ — плотность вероятности запасу находиться на уровне z.

Для раскрытия указанных характеристик воспользуемся теорией марковских процессов, согласно которой абсолютная величина характеристики каждого из n состояний системы определяется из условий полноты системы.

В нашем случае $n = 3$. Основная идея марковских процессов состоит в учете всех возможных состояний системы в любой промежуток времени. Условие полноты системы, следовательно, будет иметь вид:

$$P_0 + P(z_{max}) + \int\limits_{(z\bar{\tau})=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z\bar{\tau})\, dz\bar{\tau} = 1. \qquad (1)$$

Перейдем к определению вероятностных характеристик системы.

Определим P_0 — вероятность магазину быть пустым.

В данный момент времени магазин может быть пустым в следующих случаях:

а) Магазин был пуст в предыдущий момент времени, когда участки работали со средними производительностями, затем предыдущий участок увеличил свою производительность. Вероятность данного случая равна:

$$P_1 = \frac{1}{4} P_0. \tag{2}$$

б) Магазин был пуст в предыдущий момент времени, когда участки работали со средними производительностями, затем последующий участок увеличил свою производительность. Вероятность данного случая равна:

$$P_2 = \frac{1}{4} P_0. \tag{3}$$

в) Магазин был полон в предшествующий момент времени, когда участки работали со средней производительностью, затем предыдущий участок снизил свою производительность и в таком режиме работал не менее чем $(\Delta_1 z_{max} \bar{\tau})$, где

$$\Delta_1 = \frac{\Delta П_{ср}(1)}{П_{ср}}.$$

Вероятность данного случая равна:

$$P_3 = \frac{1}{4} P(z_{max}) \cdot N(z_{max})_1,$$

где $N(z_{max})_1$ — вероятность того, что перестройка, меняющая производительность предыдущего участка, не начнется в течение времени $\Delta_1 z_{max} \bar{\tau}$.

В соответствии с принятым вероятностным законом работы автоматической линии

$$P_3 = \frac{1}{4} P(z_{max}) \Big(1 - \int\limits_{t=0}^{\Delta_1 z_{max} \bar{\tau}} k \cdot e^{-kt} dt\Big). \tag{4}$$

г) Магазин был полон в предшествующий момент времени, когда участки работали со средней производительностью, а затем последующий участок увеличил свою производительность и в таком режиме работал не менее чем $\Delta_2 z_{max} \bar{\tau}$, где

$$\Delta_2 = \frac{\Delta П_{ср}(2)}{П_{ср}}.$$

Вероятность данного случая равна:

$$P_4 = \frac{1}{4} P(z_{max}) \cdot N(z_{max})_2,$$

где $N(z_{max})_2$ — вероятность того, что перестройка, изменяющая производительность на последующем участке, не начнется ранее чем через $\Delta_2 z_{max} \bar{\tau}$.

В соответствии с законом работы автоматической линии

$$P_4=\frac{1}{4}P(z_{max})(1-\int\limits_{t=0}^{\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}} ke^{-kt}dt). \tag{5}$$

д) Магазин был заполнен до величины $z_n\bar{\tau}$, когда участки работали со средней производительностью, а затем предыдущий участок снизил свою производительность и в таком режиме работал не менее чем $\Delta_1 z_n\bar{\tau}$.

Вероятность данного случая равна:

$$P_5=\frac{1}{4}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}\cdot N(z_n)_1. \tag{6}$$

где $N(z_n)_1$ — вероятность того, что предыдущий участок не изменит производительности в период $\Delta_1 z_n\bar{\tau}$.

В соответствии с принятым законом работы линии

$$P_5=\frac{1}{4}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}}(p_x z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}(1-\int\limits_{t=0}^{\Delta_1 z_n\bar{\tau}} k\cdot e^{-kt}dt).$$

е) Магазин был наполнен до величины $z_n\bar{\tau}$, когда участки работали со средней производительностью, а затем увеличил свою производительность последующий участок и в таком режиме работал не менее чем $\Delta_2 z_n\bar{\tau}$.

Вероятность данного случая равна:

$$P_6=\frac{1}{4}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}\cdot N(z_n)_2,$$

где $N(z_n)_2$ — вероятность того, что перестройка, изменяющая производительность на последующем участке, не начнется ранее чем через $\Delta_2 z_n\bar{\tau}$.

В соответствии с принятым законом работы автоматической линии

$$P_6=\frac{1}{4}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}(1-\int\limits_{t=0}^{\Delta_2 z_n\bar{\tau}} k\cdot e^{-kt}dt) \tag{7}$$

Составив сумму единичных вероятностей и произведя возможное интегрирование, получим P_0 следующее выражение:

$$P_0=\frac{1}{2}(Pz_{max})\left(e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}+e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right)+$$

$$+\frac{1}{2}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} P_x(z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}\cdot e^{-k\Delta_1 z_n\bar{\tau}}+\frac{1}{2}\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\,dz_n\bar{\tau}\cdot e^{-k\Delta_2 z_n\bar{\tau}} \tag{8}$$

Аналогичным же приемом для вероятностей $P(z_{max})$ магазину **быть** полным получим выражение:

$$P(z_{max}) = \frac{1}{2}P_0\left(e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}} + e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right) +$$

$$+\frac{1}{2}e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}} \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})dz_n\bar{\tau}\, e^{k\Delta_1 z_n\bar{\tau}} +$$

$$+\frac{1}{2}e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}} \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\, dz_n\tau\, e^{k\Delta_2 z_n\bar{\tau}}$$

Предполагая, что принятый вероятностный закон работы линии справедлив для каждого участка в отдельности, можно допустить, что промежуточный магазин является системой с симметричными состояниями, если участки линии равноценны, то есть в этом случае вероятность магазину быть пустым и вероятность магазину быть **полным** должны быть равны.

$$P_0 = P(z_{max}) \tag{10}$$

Имея в виду (8), (9) и (10) получим:

$$\int\limits_{z_n\tau=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\, dz_n\bar{\tau}\cdot e^{-k\Delta_1 z_n\bar{\tau}} + \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_m\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\, dz_n\bar{\tau}\cdot e^{-k\Delta_2 z_n\bar{\tau}} =$$

$$= e^{-k\Delta_1 z_{max}\tau} \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})dz_n\bar{\tau}\cdot e^{k\Delta_1 z_n\bar{\tau}} +$$

$$+ e^{k\Delta_2 z_{max}\tau} \int\limits_{z_n\tau=0}^{z_{max}\bar{\tau}} p_x(z_n\bar{\tau})\, dz_n\bar{\tau}\cdot e^{k\Delta_2 z_n\bar{\tau}}.$$

Полученное равенство удовлетворяется, если функция распределения вероятностей является постоянной величиной.

Докажем данное предположение, подставив в левую и правую части равенства значение $p^x(z_n\bar{\tau}) = c$

Для левой части получим:

$$c\cdot \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} e^{-k\Delta_1 z_n\tau} dz_n\bar{\tau} + c\cdot \int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\tau} e^{-k\Delta_2 z_n\bar{\tau}} dz_n\tau =$$

$$= \frac{c}{k\Delta_1}\left(e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}} - 1\right) - \frac{c}{k\Delta_2}\left(e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}} - 1\right) =$$

$$= \frac{c}{k\Delta_1}\left(1 - e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}\right) + \frac{c}{k\Delta_2}\left(1 - e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right).$$

Для правой части:

$$e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}\cdot c\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} e^{k\Delta_1 z_n\bar{\tau}}\cdot dz_n\bar{\tau}+e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\cdot c\int\limits_{z_n\bar{\tau}=0}^{z_{max}\bar{\tau}} e^{k\Delta_2 z_n\bar{\tau}}\,dz_n\bar{\tau}=$$

$$=e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}\cdot\frac{c}{k\Delta_1}\left(e^{k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}-1\right)+e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\frac{c}{k\Delta_2}\left(e^{k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}-1\right)=$$

$$=\frac{c}{k\Delta_1}\left(1-e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}\right)+\frac{c}{k\Delta_2}\left(1-e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right).$$

Таким образом равенство удовлетворяется при $p_x(z_n\bar{\tau})=c=\mathrm{const}$, что доказывает справедливость предположения.

Подставим значения интегралов левой и правой части равенства в (8) и (9). Тогда при $P_0=P(z_{max})$ получим:

$$P_0=P(z_{max})=\frac{1}{2}P(z_{max})\left(e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}+e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right)+$$

$$+\frac{1}{2}\,\frac{c}{k\Delta_1}\left(1-e^{-k\Delta_1 z_{max}\bar{\tau}}\right)+\frac{1}{2}\,\frac{c}{k\Delta_2}\left(1-e^{-k\Delta_2 z_{max}\bar{\tau}}\right).$$

Отсюда видно, что равенство удовлетворяется, если

$$P_0=P(z_{max})=\frac{c}{2k}\left(\frac{1}{\Delta_1}+\frac{1}{\Delta_2}\right). \tag{11}$$

Определим при данном значении величин P_0 и $P(z_{max})$ постоянную c из условия полноты системы (1):

$$c=\frac{1}{\frac{1}{k}\left(\frac{1}{\Delta_1}+\frac{1}{\Delta_2}\right)+z_{max}\bar{\tau}} \tag{12}$$

Подставив значение c в выражение (11) для P_0 и $P(z_{max})$ имеем:

$$P_0=P(z_{max})=\frac{1}{2+\dfrac{2z_{max}\bar{\tau}k}{\left(\dfrac{1}{\Delta_1}+\dfrac{1}{\Delta_2}\right)}},$$

При отсутствии запаса в магазине, последующий участок вынужден часть времени работать «вхолостую», что крайне нежелательно, так как снижается коэффициент загрузки станка и нарушается синхронная выдача заготовок в последующие позиции.

Учитывая, кроме того, что вероятность данного события по точечной схеме равна $\frac{1}{4}$, можно составить следующее равенство:

$$\frac{1}{4}+P_0=\frac{1}{4}+\frac{1}{4}\lambda,$$

где λ — вероятность работы последующего участка «вхолостую».

Подставим значение P_0 из данного равенства в выражение (13). Тогда, произведя преобразование, получим (при $k = \frac{1}{t}$)

$$z_{max} = \frac{\bar{t}}{\tau}\left(\frac{1}{\Delta_1} + \frac{1}{\Delta_2}\right)\left(\frac{2}{\lambda} - 1\right),$$

где $\bar{t}$ — среднее значение периода равномерной производительности (с учетом микропростоев).

Если преобразовать последнее выражение с учетом того, что

$$\bar{\tau}\Delta_1 = \Delta\bar{\tau}_1 \text{ а } \bar{\tau}\Delta_2 = \Delta\bar{\tau}_2,$$

то окончательно получим

$$z = \left(\frac{t}{\Delta\bar{\tau}_1} + \frac{t}{\Delta\bar{\tau}_2}\right)\left(\frac{2}{\lambda} - 1\right),$$

где $\Delta\bar{\tau}$ — величина изменения интервала выхода заготовок на соответствующем операционном участке линии.

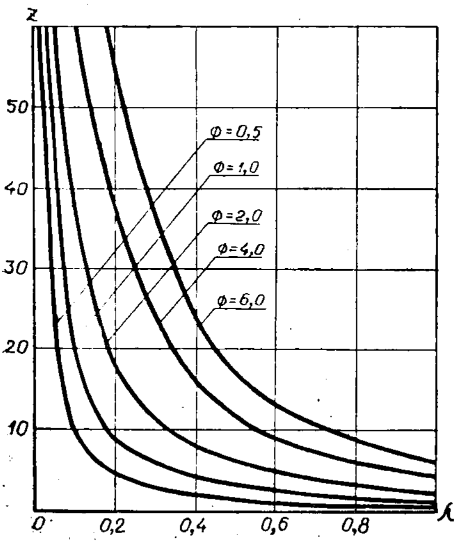


Рис. 9. График изменения величины запаса в функции (λ и Φ).

Обозначим:

$$\left(\frac{\bar{t}}{\Delta\bar{\tau}_1} + \frac{\bar{t}}{\Delta\bar{\tau}_1}\right) = \Phi$$

тогда формула примет вид:

$$z = \Phi \cdot \left(\frac{2}{\lambda} - 1\right)$$

По формуле построен график $z = f(\lambda)$, который приведен на рис. 9. Из графика видно, что диапазон изменения величины $\lambda = 0{,}4 \div 0{,}6$ можно считать оптимальным. С учетом этого окончательную формулу для определения величины запаса можно представить в виде:

$$z = 3t\left(\frac{1}{\Delta\bar{\tau}_1} + \frac{1}{\Delta\bar{\tau}_2}\right). \qquad (14)$$

Приведем пример:

Пусть известно, что $\Delta\bar{\tau}_1 = 1$ *сек*, $\bar{t} = 2$ *сек*, $\Delta\bar{\tau}_2 = 1$ *сек*.

При данных значениях величин получим: $z = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12$ шт.

При пользовании формулой (14) следует помнить, что

$$\text{при } \Delta\bar{\tau} = 0 \qquad (\bar{t} \to \infty)$$
$$\text{при } \Delta\bar{\tau} > 0 \qquad (0 < \bar{t} < \infty)$$

то есть указанные величины взаимозависимы. Таким образом, при вероятностном законе работы участков автоматической линии оптимальный запас является вполне определенной величиной.

Поступила в редакцию
31 марта 1958 г.