1. Общие сведения о моделировании сложных систем. Классификация моделей.

Дисциплина «МвПСС» рассматривает вопросы применения **имитационного моделирования** при проектировании сложных технических и других систем, к которым относятся гибкие производственные системы (ГПС), их подсистемы, и другие объекты дискретного производства, а также другие системы, в основе которых лежат системы массового обслуживания.

Сложная техническая система состоит из множества взаимосвязанных элементов и подвержена влиянию внешних воздействий.

При изучении сложной системы осуществляют:

структуризацию (выявление наиболее существенных элементов и установлением связей между ними)

алгоритмизацию (рассмотрение алгоритмов поведения системы и ее подсистем в процессе функционирования).

Под последним понимают изменение состояния системы во времени при достижении ею поставленной цели.

Моделирование - адекватная замена реальной системы моделью, которая упрощает изучение свойств системы.

Этапы разработки модели реального объекта:

- **формулирование цели и подготовка исходных данных;**
- **разработка концептуальной модели** (связанная со структуризацией и алгоритмизацией объекта);
- **выбор метода и средств моделирования** (исходя из характера системы, достоинств и недостатков методов, наличия средств их реализации);
- **разработка математической и программной модели** (составление математического описания элементов системы, их взаимосвязи и написание программы на универсальном языке, языке моделирования общего назначения или специализированном языке);
- **проверка адекватности модели объекту и ее корректировка;**
- **планирование и проведение расчетов на ЭВМ;**
- **анализ полученных результатов.**

К настоящему времени разработано большое количество методов моделирования.

С точки зрения **подобия реальному объекту** различают **полные** и **приближенные** модели.

В зависимости от **характера процессов** в системе они подразделяются на **детерминированные** и **стохастические, статические** и **динамические, дискретные, непрерывные** и **дискретно–непрерывные.**

По **форме представления объекта** модели делят на **физические** и **математические.**

Математические модели в свою очередь делятся на:

-Аналитические (позволяют получить решения в явном виде, часто не являются структурно подобными объектам моделирования).

-Имитационные (модель структурно подобна объекту, воспроизводит процесс функционирования системы во времени с сохранением составляющих его элементарных явлений и событий, при этом есть возможность управлять масштабом времени, пересчет которого осуществляют либо с постоянным шагом, либо в движении от события к событию, что позволяет существенно экономить машинное время.)

В общем случае модели, отражающие динамику происходящих в таких системах процессов, можно подразделить на **синхронные (**есть привязка ко времени), и **асинхронные** (учитывающие параллельные процессы и причинно-следственные связи.)

К **синхронным** относят **дискретные детерминированные** и **дискретно–стохастические** модели, при построении которых используется теория автоматов.

Ко **асинхронным** относят **модели, основанные на теории систем массового обслуживания (СМО)**. Наряду с ними получили широкое распространение **сетевые модели: сети Петри и их модификации**. Значительная роль при создании сложных систем отводится **компьютерному расчету,** реализующему методы **имитационного моделирования,** основанные на **интерпретации СМО**.

2. Понятие о системах массового обслуживания (СМО) и их характеристиках.

Система массового обслуживания – это совокупность последовательно связанных между собой

- **входящих потоков требований** (заявок) на обслуживание;
- **очередей** с правилами постановки в очередь и выхода из нее;
- **каналов обслуживания** со своими правилами;
- **выходящих потоков требований.**

Входящий поток требований задается описанием моментов поступления требований в систему каким–либо законом или количеством одновременно поступивших требований.

Различают **регулярный** (5 мин) и **случайный** (5±2 мин) потоки. Случайный поток может быть **стационарным** (интервалы поступлений не зависят от их положения на временной оси) и **нестационарным.**

В СМО поток требований принимается простейшим – пуассоновским. вероятность того, что k требований поступят за время t : $P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$. , $\lambda = 1/t_n$ интенсивность входящего потока, где t_n –среднее значение длительностей интервалов поступления требований.

Правила постановки в очередь и выхода из нее:

- «Первым пришел – первым обслужен» (FIFO);
- «Последним пришел – первым обслужен» (LIFO);
- Случайный выбор (RANDOM);
- Выбор по признаку: приоритету, длине очереди, времени нахождения в очереди и т.п.

Каналы обслуживания. Различают **одноканальные** и **многоканальные** (с несколько идентичными каналами) СМО.

Обслуживание характеризуется длительностью. **Интенсивность** обслуживания $\mu = 1/t_0$, где t_0-среднее время интервала обслуживания. Время обслуживания может быть детерминированным или вероятностным.

Дисциплины обслуживания бывают: **бесприоритетные** и **приоритетные (с прерыванием** и **без прерываний**).

Загрузка СМО $\rho = \lambda/(K\mu)$, (К – число каналов).

Выходящий поток. Это поток требований, покидающий систему. В **многофазных** сетях выходящий поток предыдущего узла является входящим потоком последующего узла. В **сети без потерь** загрузка всех узлов должна быть одинаковой. Тогда сеть сбалансирована. Если в сети есть узкое место, т.е. узел, для которого загрузка максимальна, то такой узел становится еще одним (кроме склада) источником требований в сети.

Если выходящий поток не поступает на вход системы, то СМО называют **разомкнутой**, если поступает то **замкнутой.**

3. Одноканальная разомкнутая система с простейшими потоками.

Под **простейшим пуассоновским потоком** понимают такой, в котором поступление требований происходит по одному; вероятность поступлений последующих требований не зависит от предыстории; поток требований стационарный.

Интенсивность входящего потока $\lambda = 1/t_n$, где t_n – среднее значение длительностей интервалов поступления требований.

Интенсивность обслуживания требований в одноканальном устройстве $\mu = 1/t_0$, где t_0 – среднее время обслуживания одного.

Загрузка оборудования $\rho = \lambda / \mu$,

Применительно к ГПС, в случаях, когда $\rho \le 1$, система справляется с обслуживанием требований. При $\rho = 1$ наступает **установившийся режим**. Практически $\rho < 1$, а $1 - \rho$ – время простаивания СМО. Если же $\rho > 1$, то ГПС не справляется с обслуживанием деталей и очереди к оборудованию растут бесконечно.

В одноканальной СМО **средняя длина очереди** с пуассоновским входящим потоком и произвольно распределенным временем обслуживания по формуле Поллачека–Хинчина: $\ell = \frac{\rho^2(1+c^2)}{2(1-\rho)}$, (1.2)

где $c = \sigma / t_0$, здесь σ – СКО времени обслуживания.

При детерминированном обслуживании $c = 0$, $\ell = \rho^2 / 2(1-\rho)$ (1.3)

При экспоненциальном $c = 1$, $\ell = \rho^2 / 1 - \rho$. (1.4)

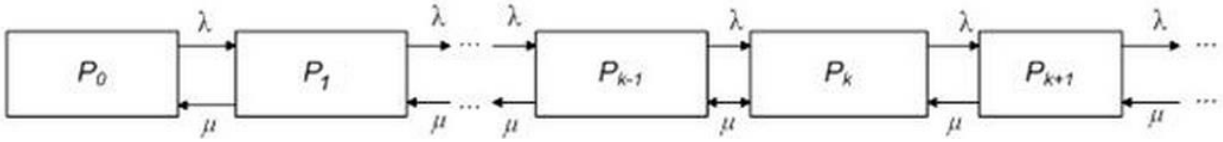
Из формулы (1.2) следует, что **длина очереди в сильной степени зависит от коэффициента** c. Поэтому нестабильности в ГПС влияют на объем незавершенного производства.

Длина очереди зависит от отношения λ и μ, а не от их абсолютных значений.

Задано: число требований ***k;*** интенсивность их поступлений λ интенсивность обслуживания μ

Необходимо определить: коэффициент использования канала обслуживания ***p***; среднюю длину очереди ***l***; среднее число требований, находящихся в системе (в очереди ив канале обслуживания) $\bar{k}_{сист}$, вероятности состояний СМО $P_k (k = 0,1,2...)$.

Граф состояний СМО:



Первый элемент с вероятностью P0 определяет состояние СМО, при котором канал обслуживания простаивает из-за отсутствия требований в системе. Так как поток ординарный (требования поступают по одному), то СМО может перейти в состояние P1. Из этого состояния она может с интенсивностью μ возвратиться в состояние P0 (т. е. требование обслужено ранее, чем поступило новое)

В установившемся режиме интенсивности λ и μ сбалансированы. В этом случае:

$$P_0 \cdot \lambda = P_1 \cdot \mu,$$
$$P_1 \cdot (\mu + \lambda) = P_0 \cdot \lambda + P_2 \cdot \mu,$$
$$P_2 \cdot (\mu + \lambda) = P_1 \cdot \lambda + P_3 \cdot \mu,$$
$$\vdots$$
$$P_k \cdot (\mu + \lambda) = P_{k-1} \cdot \lambda + P_{k+1} \cdot \mu,$$
$$\vdots$$

Т.к загрузка оборудования $\rho = \lambda / \mu,$

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu} = P_0 \rho.$$

Из второго уравнения найдем *P2*:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{\mu}{\mu} + P_1 \cdot \frac{\lambda}{\mu} - P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu}, \text{ но т.к. } P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu}, \Rightarrow P_2 = P_1 \cdot \rho = P_0 \cdot \rho^2$$

Аналогично рассуждая, находим:

$$P_3 = P_0 \cdot \rho^3;$$
$$\vdots$$
$$P_k = P_0 \cdot \rho^k.$$

Поскольку сумма вероятностей всех состояний $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1,$ то $1 = P_0 \sum_{k=0}^{\infty} \rho^k.$

Так как реально $\rho < 1$, то сумма геометрической прогрессии

$$\sum_{k=0}^{\infty} \rho^k = 1 + \rho + \rho^2 + \ldots + \rho^k + \ldots = \frac{1 - \rho^{k-1}}{1 - \rho}$$

При $k \to \infty$ и $\rho < 1$ член $\rho^{k-1} \to 0$ и $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = P_0 \cdot \frac{1}{1-\rho} = 1, \Rightarrow P_0 = 1 - \rho.$

Вероятность того, что в СМО находятся k требований:

$$P_k = P_0 \rho^k = (1 - \rho) \rho^k$$

Среднее число находящихся в СМО требований

$$\bar{k}_{сист} = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P_k = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot (1 - \rho) \cdot \rho^k.$$

После соответствующих преобразований: $\bar{k}_{сист} = \frac{\rho}{1 - \rho}.$

Среднее число требований, находящихся в очереди

$$l = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{k}_{сист} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \text{ или } \rho + l = \bar{k}_{сист}, \text{ откуда } l = \frac{\rho}{1 - \rho} - \rho = \frac{\rho^2}{1 - \rho}.$$

4. Многоканальная разомкнутая система с простейшими потоками.

Комплекс однородных параллельно работающих одноканальных устройств с общим входом и общим выходом называют **многоканальным устройством** (МКУ). Примерами МКУ может быть бригада наладчиков, модуль из нескольких сборочных машин, участок станков с ЧПУ и т.п. Число одноканальных устройств, входящих в МКУ, называют его емкостью.

Задано: число требований *k*; интенсивность их поступлений λ, интенсивность обслуживания μ, число каналов К.

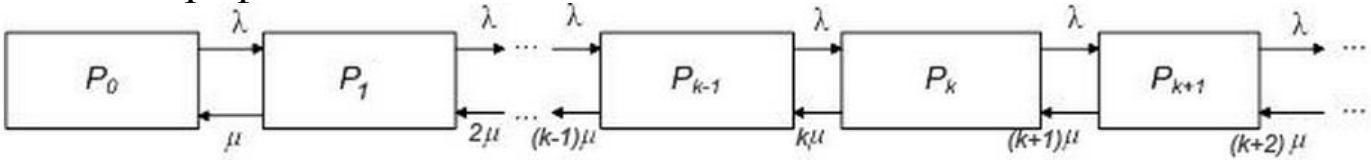
Необходимо определить: коэффициент использования канала обслуживания *p*; среднюю длину очереди *l*; среднее число требований, находящихся в системе (в очереди ив канале обслуживания) $\bar{k}_{сист}$, вероятности состояний СМО $P_k(k=0,1,2...)$.

В многоканальной СМО возможны два случая:

- число требований k, поступивших в систему, меньше количества каналов К, т.е. все требования обслуживаются ($0 \le k < K$);
- число требований $K \le k \le \infty$, т.е. их часть (К) обслуживается, а часть k-К ожидает в очереди.

Рассмотрим **первый случай:** $0 \le k < K$.

Граф состояний многоканальной СМО имеет вид:



Для сбалансированного состояния:

$$P_0 \cdot \lambda = P_1 \cdot \mu;$$

$$P_1 \cdot (\mu + \lambda) = P_0 \cdot \lambda + P_2 \cdot 2\mu;$$

$$P_2 \cdot (2\mu + \lambda) = P_1 \cdot \lambda + P_3 \cdot 3\mu;$$

$$\vdots$$

$$P_k \cdot (k\mu + \lambda) = P_{k-1} \cdot \lambda + P_{k+1} \cdot (k+1)\mu;$$

$$\vdots$$

Из первого уравнения при $\rho = \lambda / \mu$,

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu} = P_0 \rho;$$

из второго уравнения

$$P_2 = \frac{P_1}{2} + P_1 \cdot \frac{\lambda}{2\mu} - P_0 \cdot \frac{\lambda}{2\mu}, \quad \text{но т.к. } P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu},$$

первый и третий члены уничтожаются, тогда

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{\lambda}{2\mu} = P_0 \cdot \frac{\rho^2}{2}$$

Рассуждая аналогично, находим:

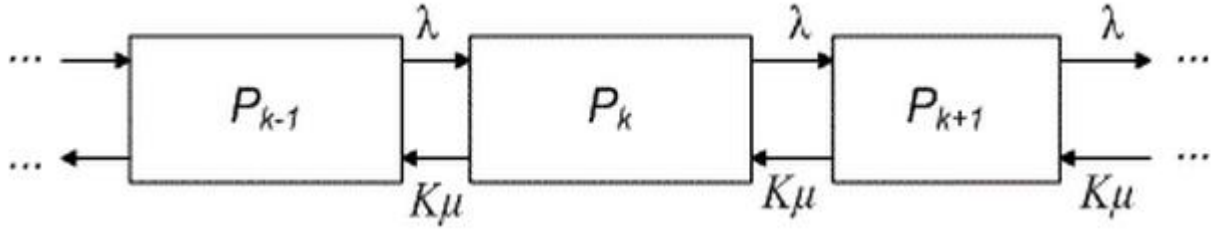
$$P_3 = P_0 \cdot \frac{\rho^3}{1 \cdot 2 \cdot 3};$$

$$\vdots$$

$$P_k^1 = P_0 \cdot \frac{\rho^k}{k!}.$$

Рассмотрим **второй случай:** $K \le k \le \infty.$

Граф состояний имеет вид:



$$P_k^2 = P_0 \frac{\rho^k}{K! K^{k-K}}.$$

Объединяя эти два случая, получим:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1, \text{откуда } P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{k=K}^{\infty} \frac{\rho^k}{K! K^{k-K}}}.$$

5. Одноканальная замкнутая система с простейшими потоками.

Система массового обслуживания (СМО)

Гибкие производственные системы (ГПС)

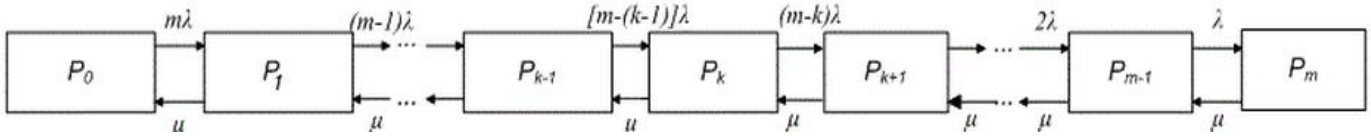
Если выходящий поток в данной СМО не поступает на ее вход, то систему считают **разомкнутой**, если поступает, – то **замкнутой**.

Особенности замкнутой системы.

Исходные данные: число требований, циркулирующих в системе – m; интенсивность поступления требований на обслуживание $\lambda = \frac{1}{t_{возвр}}$ где $t_{возвр}$ – время возвращения требования в систему (с выхода на вход); $\mu = \frac{1}{t_{об}}$ – интенсивность обслуживания, как и ранее.

Необходимо определить вероятности состояний P_0, P_1, P_k и P_m (здесь $k < m$).

Граф состояний имеет вид:



Для установившегося режима:

$$P_0 \cdot m\lambda = P_1\mu;$$

$$P_1 \cdot (\mu + (m-1)\lambda) = P_0 \cdot m\lambda + P_2 \cdot \mu;$$

$$P_2(\mu + (m-2)\lambda) = P_1 \cdot (m-1) \cdot \lambda + P_3\mu;$$

$$\vdots$$

$$P_k(\mu + (m-k)\lambda) = P_{k-1}(m-(k-1))\lambda + P_{k+1}\mu;$$

$$\vdots$$

$P_m\ \mu = P_{m-1}\lambda.$

Обозначим $\frac{\lambda}{\mu} = \rho.$

Из первого уравнения $P_1 = P_0 m \frac{\lambda}{\mu} = P_0 m \rho.$

Из второго $P_2 = P_1 + P_1(m-1)\frac{\lambda}{\mu} - P_0 m \frac{\lambda}{\mu}$, но так как $P_1 = P_0 m \frac{\lambda}{\mu}$,

то 1 и 3 члены уничтожаются и $P_2 = P_1(m-1)\rho = P_0 m(m-1)\rho^2.$

Аналогично рассуждая, получим:

$P_3 = P_0 m(m-1)(m-2)\rho^3$ и т.д.

После соответствующих преобразований $P_k = P_0 \frac{\rho^k m!}{(m-k)!}$.

Используя равенство $\sum_{k=0}^{m} P_k = 1$, получим $1 = P_0 \cdot \sum_{k=0}^{m} \rho^k \frac{m!}{(m-k)!}$, отсюда $P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{m} \frac{\rho^k \cdot m!}{(m-k)!}}$.

Для установившегося режима СМО средняя интенсивность поступлений требований во входном потоке равна средней интенсивности выходного потока:

$(m - \bar{k}_{сист})\lambda = (1 - P_0)\mu$, отсюда

$$\bar{k}_{сист} = m - \frac{1 - P_0}{\rho}.$$

Среднее число требований в очереди

$$l = \bar{k}_{сист} - (1 - P_0) = m - \frac{1 - P_0}{\rho} - (1 - P_0) = m - (1 - P_0)(\frac{1}{\rho} + 1).$$

6. Многоканальная замкнутая система с простейшими потоками.

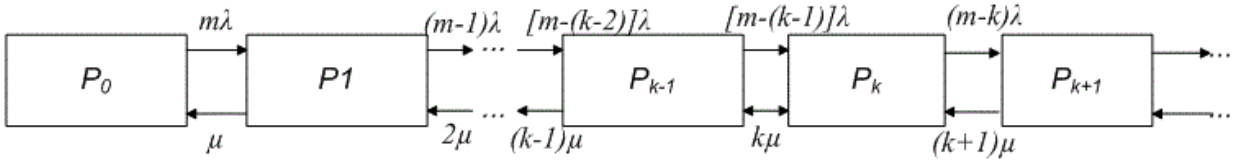
Особенности замкнутой системы.

Исходные данные: число требований, циркулирующих в системе – m; число каналов обслуживания равно К; интенсивность поступления требований на обслуживание $\lambda = \frac{1}{t_{возвр}}$ где $t_{возвр}$– время возвращения требования в систему (с выхода на вход); $\mu = \frac{1}{t_{об}}$ – интенсивность обслуживания, как и ранее.

Необходимо определить вероятности состояний $P_0,\ P_1,\ P_k$ и P_m $(здесь\ k < m).$

Первый случай: $0 \le k < K.$

Граф состояний имеет вид:



Для установившегося режима

$$P_0 \cdot m\lambda = P_1\mu;$$

$$P_1 \cdot (\mu + (m-1)\lambda) = P_0 \cdot m\lambda + P_2 \cdot 2\mu;$$

$$P_2(2\mu + (m-2)\lambda) = P_1 \cdot (m-1) \cdot \lambda + P_3 \cdot 3\mu;$$

$$\vdots$$

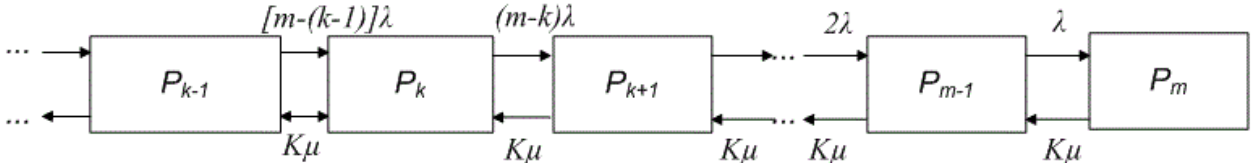
$$P_k(k \cdot \mu + (m-k)\lambda) = P_{k-1} \cdot (m-(k-1))\lambda + P_{k+1} \cdot (k+1)\mu.$$

После соответствующих преобразований:

$$P_k^1 = P_0 \rho^k \frac{m!}{(m-k)!k!}.$$

Второй случай: $K \le k \le m.$

Граф состояний имеет вид:



$$P_k^2 = P_0 \rho^k \frac{m!}{(m-k)!K!K^{k-K}}.$$

Так как $\sum_{k=0}^{m} P_k = 1$, то $P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{K-1} m! \cdot \frac{\rho^k}{(m-k)!k!} + \sum_{k=K}^{m} m! \cdot \frac{\rho^k}{(m-k)!K!K^{k-K}}}.$

7. Особенности стохастических сетей.

Стохастическая сеть состоит из связанных между собой узлов, в которых находятся СМО, соответствующие группам оборудования, гибким производственным модулям, имеющим свои накопители деталей. **Общий склад** ГПС представляется в стохастической сети источником–приемником. Иногда при моделировании ГПС могут применяться **замкнутые сети**. Это делается для **изучения работы транспорта**, который циркулирует в ГПС (в модели – постоянное число требований).

В стохастической сети в установившемся режиме интенсивности входящего в узел потока требований равны интенсивностям выходящего из этого узла потока.

Если требования при переходе от узла к узлу не меняют приоритета, то сети называют **однородными**.

Рассмотрим разомкнутую стохастическую сеть с пуассоновским потоком требований из источника и экспоненциальным распределением интервалов обслуживания. Такие сети часто называют экспоненциальными.

Пусть структура ГПМ имеет вид, изображенный на рис. 1.1.

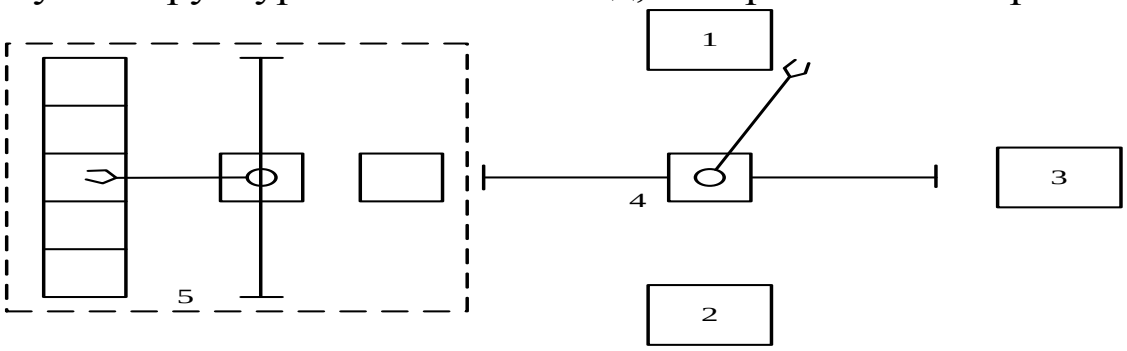


Рис. 1.1. Схема ГПМ: 1 – 3 – станки; 4 – транспортный робот; 5 – автоматизированный склад

Сеть, соответствующая этому ГПМ, приведена на рис. 1.2.

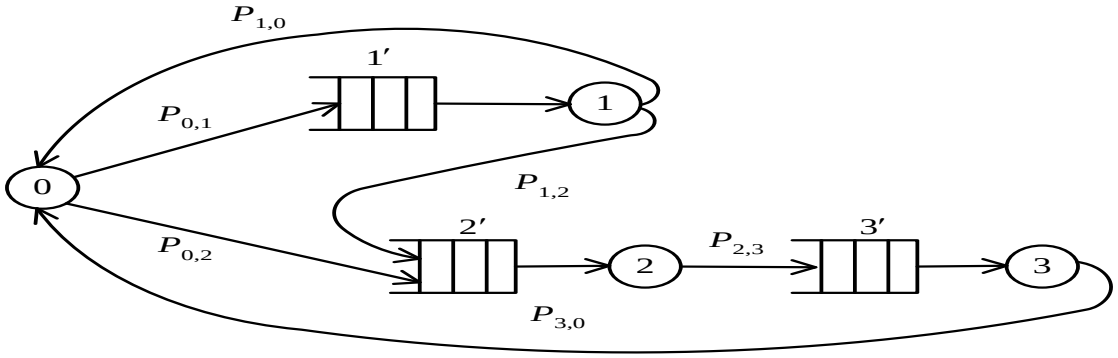


Рис. 1.2. Стохастическая сеть ГПМ: 0 – источник–приемник требований; 1–3 – станки; 1′–3′ – очереди к станкам

Особенность ГПМ состоит в том, что после обработки на станке 1 часть деталей уходит из системы с вероятностью $P_{1,0}$, а часть с вероятностью $P_{1,2}$ –на обработку к станку 2. В общем случае вероятность $P_{i,j}$ –это часть всех деталей, поступающих с узла i на узел j.

Так как в сетях без потерь интенсивность потока поступающих в i –й узел требований равна интенсивности потоков, выходящих из i –го узла, то справедливо выражение

$\lambda_i = \sum_{j=1}^{M} \lambda_{i,j} = \sum_{j=1}^{M} P_{i,j} \lambda_i$, (например $\lambda_1 = \lambda_{10} + \lambda_{12};\ \lambda_{12} + \lambda_{02} = \lambda_{23}$)

где M – число узлов в сети.

Интенсивность входящего потока деталей в i –й узел за время T:

$\lambda_i = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{I} N_k q_{i,k},\ i = 1,...,M,$

где I – количество наименований деталей, обрабатываемых на i –м оборудовании; N_k – число деталей k –го наименования; $q_{i,k}$ – число операций над деталью k –го наименования на i –м оборудовании.

Интенсивность источника требований: $\lambda_0 = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{Q} N_k$,

где Q – полное число наименований деталей в ГПС.

Интенсивность потока деталей из i –го узла в j –й: $\lambda_{i,j} = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{I+J} N_k q_{i,k}$.

Вероятность передачи деталей из i –го в j –й узел $P_{i,j} = \frac{\lambda_{i,j}}{\lambda_i}$,

Среднее время обслуживания в i –м узле: $\tau_{0i} = \frac{1}{\lambda_i} \sum_{k=1}^{I} \rho_{i,k}$,

где $\rho_{i,k}$ – загрузка i –го узла деталями k –го наименования.

Средний объем незавершенного производства ГПС: $N = \sum_{i=1}^{M} n_i$

и **среднее время цикла** ГПС: $T_{np} = \sum_{i=1}^{M} \frac{\lambda_i}{\lambda_0} t_{np\,i}$,

где $t_{np\,i}$ – среднее время пребывания требования в i –м узле.

Стохастическая сеть, как и СМО, **сбалансирована**, если загрузка всех узлов одинакова. Если сеть **несбалансирована**, то в ней есть узкое место, т.е. узел, для которого загрузка максимальна. Такой узел становится еще одним **источником требований** в сети.

8. Общие сведения о языке моделирования GPSS.

Рассматриваемый язык моделирования основан на концепции, суть которой в том, что моделью сложной системы является адекватное описание ее объектов и правил их взаимодействия.

Все объекты делятся на **семь категорий**:

1)Динамические объекты - транзакты. Они создаются, передвигаются, останавливаются, задерживаются, уничтожаются. С каждым транзактом связан ряд их свойств (номер, уровень приоритета, и др.). Их физический смысл устанавливает пользователь. Это могут быть детали, транспортные средства, операторы и т.п.

2)Операционные объекты – блоки описывают правила взаимодействия элементов системы и определяют пути движения транзактов в модели.

3)Аппаратные объекты - одноканальные устройства, многоканальные устройства и логические ключи. В реальных системах – это ресурсы (станки, сборочные машины, работники и т.п.).

4)Статические объекты - регистраторы очередей и средства табулирования количественных характеристик модели.

5)Вычислительные объекты - объекты моделирующие функ-ции, арифметические и булевы переменные.

6)Запоминающие объекты - линейные и матричные сохраняемые величины, предназначенные для сохранения и использования числовой информации.

7)Группирующие объекты - числовые группы, группы транзактов и списки событий.

Существуют **шесть видов списков**:

1.Список текущих событий (СТС) – включает транзакты, соответствующие событиям, время наступления которых равно или меньше (для заблокированных транзактов) текущего.

2.В список будущих событий (СБС) –входят транзакты, события с которыми произойдут в будущем.

3.Список прерываний включает транзакты, обслуживание которых прервано.

4.Список повторений включает транзакты, которые ожидают изменения состояния канала обслуживания.

5.Список задержки содержит транзакты, пытающиеся войти в занятый канал.

6.Список пользователя включает транзакты, которые пользователь переводит в определенных случаях из списка текущих событий в качестве пассивных.

В модели может быть до шести списков, но обязательными являются СТС и СБС (каждый по одному).

9. Таймер модельного времени. Способы программирования окончания моделирования.

В языке GPSS организовано автоматическое обслуживание системных часов – **таймера модельного времени,** которое продвигается дискретно – от события к событию. Системные часы состоят из двух частей: **таймера абсолютного времени** (от начала до конца моделирования) и **таймера относительного времени** (от определенного момента до конца моделирования).

Поясним работу таймера. Пусть работает гибкий производственный модуль (ГПМ). На обработку поступают детали после включения ГПМ и в дальнейшем через каждые 20 минут. Время обработки детали в модуле 15 минут.

Составим таблицу.

Номер события	Событие	Фактическое время	Модельное время
1	Включение ГПМ	8 ч. 00 мин.	0
2	Первая деталь поступает на обработку	8 ч. 20 мин.	20
3	Первая деталь обработана	8 ч. 35 мин.	35
4	Вторая деталь поступает на обработку	8 ч. 40 мин.	40
.	.	.	.

В самом начале моделирования таймер в положении «0».

Когда начинается моделирование, планируется приход первого транзакта, после чего таймер устанавливается в значение времени, соответствующее моменту появления этого транзакта (20 единиц). Транзакт продвигается по модели, а таймер – к моменту следующего события (конец обработки детали) – 35 единиц и т.д.

Выделим особенности таймера.

1. Единица модельного времени определяется разработчиком. Она должна быть целой вещественной и единой для всех модулей программы.

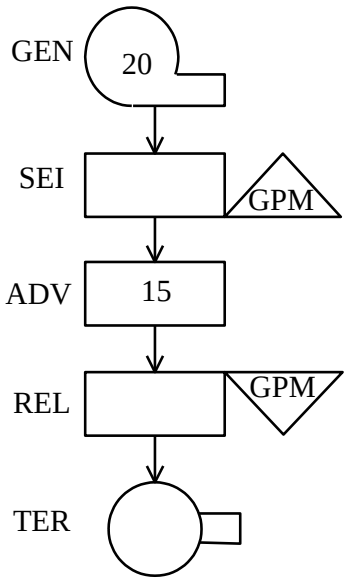
2. Так как пакет GPSS ориентирован на следующее событие, то таймер продвигается к событию, если оно наступило, если нет – то пропускает его и идет дальше. При этом время прогона не зависит от масштаба единицы модельного времени (в этом смысл «сжатия» или «растягивания» времени).

10. Способы представления моделей с использованием пакета GPSS World.

Модели на языке GPSS могут быть представлены в виде блок–диаграмм или в виде текстов программ.

На основе разработанного алгоритма функционирования моделируемой системы создают **блок–диаграмму** модели. Она содержит набор фигур, соответствующих определенным блокам, соединенным между собой.

Пусть работает гибкий производственный модуль (ГПМ). На обработку поступают детали после включения ГПМ и в дальнейшем через каждые 20 минут. Время обработки детали в модуле 15 минут.



Блоки обозначены тремя первыми буквами, остальные надписи соответствуют исходным данным. Стрелки указывают направления движения транзактов. Из блок–диаграммы следует, что транзакт–деталь входит через блок GENERATE в ГПМ через 20 единиц модельного времени после начала работы модуля, занимает модуль с именем GPM, задерживается в нем (блок ADVANCE) на 15 единиц, освобождает модуль (блок RELEASE) и удаляется из системы (блок TERMINATE).

Блок–диаграммы целесообразно создавать в случаях сложных моделей (с обратными связями, при параллельных процессах и т.п.).

При написании **текстов программ** используют операторы. Все операторы делятся на два типа: **блоки** и **команды** (операторы описания данных и управления). Операторы GPSS в соответствии с форматом записываются в определенных полях. Набор полей в GPSS World: **метка – оператор – операнды – комментарий.**

Для идентификации объектов (например, устройств, очередей, ключей) им присваивают имена, которые начинаются с буквы, могут включать до 200 букв и цифр, а также символы подчеркивания (SEIZE A28).

Метки образуются также, как и имена операторов. Так как транслятор GPSS присваивает меткам номера, начиная с 10000, то пользователь при желании записать вместо символической метки цифру может это сделать через команду EQU, предусмотрев номер, не превышающий 9999.

В поле операций записывается глагол (ключевое слово оператора).

В поле операндов задаются исходные данные (имена операторов, приоритеты транзактов, временные интервалы и др.). Операнды будем обозначать символами A, B, C, D, E, F, G, H. Операнды разделяются запятыми.

Комментарии отделяются от поля операндов точкой с запятой. Модули программы могут иметь наименования, которые предваряются точкой с запятой в начале строки.

Для избежания ошибок не следует использовать в качестве имен и меток начальные символы объектов GPSS.

```
GENERATE    20    ; Интервалы поступления деталей
SEIZE       GPM   ; Занятие ГПМ
ADVANCE     15    ; Обработка детали
RELEASE  GPM      ; Освобождение ГПМ
TERMINATE         ; Вывод транзактов из модели
```

11. Операторы создания, уничтожения и задержки транзактов.

GENERATE – генерировать. Это блок, через который транзакты входят в модель. Его формат:

GENERATE [A], [B], [C], [D], [E]

Квадратные скобки указывают, что данный операнд является необязательным.

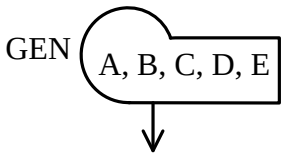
операнды **A** и **B** задают интервалы времени поступления транзактов в модель: **A** определяет среднее значение, **B** – половину поля допуска интервалов при равномерном законе распределения или модификатор–функцию при неравномерном законе распределения. В первом случае интервал определяется как **A** ± **B**, во втором – как **A** # **B** (# – знак умножения). Если, например, задан оператор GENERATE 3,1, то интервалы прихода транзактов будут от 2 до 4. Значения **A** и **B** могут быть как целыми, так и дробными числами (например, GENERATE 4.2, 1.1). По умолчанию **A** = 0, **B** = 0. При **B** = 0 интервал детерминирован и равен значению операнда **A.**

Операнд **C** задает смещение, т.е. время прихода первого транзакта; по умолчанию это время определяется операндами **A** и **B.**

Операнд **D** – ограничитель. Он задает общее число транзактов, которые могут войти в модель в период моделирования; по умолчанию ограничения нет.

Операнд **E** определяет уровень приоритета транзактов. Чем большее целое число задано, тем выше уровень приоритета. По умолчанию – уровень нулевой.

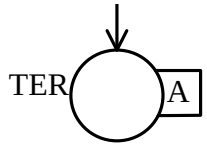
На блок–диаграммах оператор GENERATE изображается следующим образом:



В блоке GENERATE обязателен или операнд **A** или **D**, остальные в соответствии с моделируемой ситуацией могут отсутствовать.

TERMINATE. Это блок, через который транзакты удаляют из модели. Формат:

TERMINATE [A]



Операнд **A** является указателем уменьшения счетчика завершения моделирования.

Счетчик завершения – это ячейка памяти, в которую заносится целое положительное число, записанное в начале моделирования в операнде **A** команды START. Оператор START имеет формат:

START A, [B], C, [D]

операнд **B** задает разрешение (по умолчанию) или запрет (NP) на вывод статистики.

операнд **C** в этом пакете не используется (в GPSS–PC он задает «снимки»). В **D** указывается целое положительное число для вывода информации о списках событий.

оператор START располагают либо в конце текста программы (после его ввода сразу начнется выполнение программы), либо в командной строке (в интерактивном режиме).

В модели может быть несколько блоков TERMINATE, а счетчик завершений один. Поэтому надо следить за тем, какие блоки TERMINATE уменьшают значение счетчика завершений, а какие – нет.

Если моделируемая система работает определенное время, то для окончания моделирования в программе организуется модуль таймера. Если, например, моделирование длится 1000 единиц, то этот модуль выглядит так:

```
GENERATE        1000
TERMINATE   1
START       1
```

Во всех других точках модели операнды **A** блоков TERMINATE должны быть заданы по умолчанию.

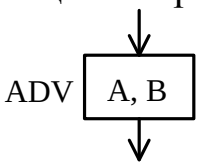
Если же необходимо закончить процесс моделирования после обработки определенного количества транзактов, например, деталей, то в операнд **A** команды START заносят это число, а в операнды **A** блоков TERMINATE, которые удаляют из модели соответствующие транзакты – детали, по единице. Например, на участке на трех станках обрабатываются детали соответственно первого, второго и третьего типов. Необходимо закончить моделирование после обработки 500 деталей первых двух типов. Это может быть реализовано так:

```
TERMINATE   1; Удаление деталей первого типа
..
TERMINATE   1; Удаление деталей второго типа
..
TERMINATE    ; Удаление деталей третьего типа
..
START       500
```

ADVANCE – задержать. Этот блок реализует задержку транзакта на время, указанное в операндах **A** и B**.** Формат блока:

```
ADVANCE   A, [B]
```

В операнде **A** указывается среднее время задержки на обслуживание, в **B** – половина интервала при равномерном законе или модификатор–функция при других законах распределения. Время задержки вычисляется соответственно как A ± B и **A** # **B**. Значения **A** и **B** по умолчанию равны нулю. Если оба операнда заданы по умолчанию, то задержка равна нулю и транзакт переходит в следующий оператор. Графическое изображение блока ADVANCE:



12. Операторы занятия и освобождения одноканальных устройств.

Блок ***SEIZE*** (занять) моделирует занятие устройства, блок ***RELEASE*** (освободить) имитирует освобождение устройства.

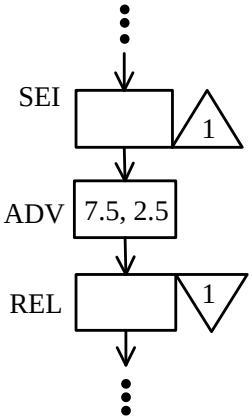
Форматы этих блоков:

SEIZE A

RELEASE A

В операнде **A** указывается цифровое или символическое имя устройства.

При работе модели автоматически формируется информация о работе устройств (о загрузке, числе входов, среднем интервале занятости и т.п.). Часто в модели используется последовательность блоков: SEIZE – ADVANCE – RELEASE, как в следующем фрагменте:



Однако не следует делать вывод, что эта последовательность обязательна.

13. Регистраторы очередей.

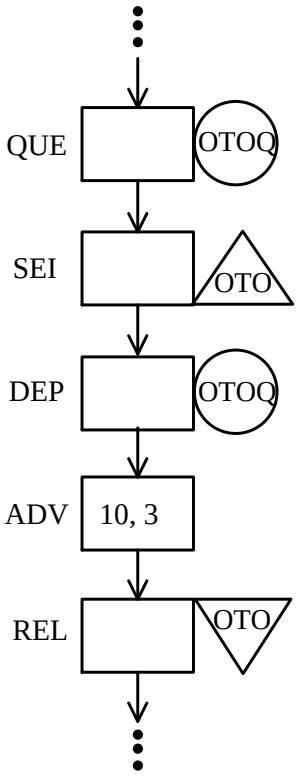
В качестве регистратора очереди используются блоки ***QUEUE*** (стать в очередь) и ***DEPART*** (выйти из очереди). Форматы:

QUEUE A, [B]
DEPART A, [B]

В операндах **A** указывается символическое или числовое имя очереди, в **B** – число, на которое увеличивается (в первом блоке) и уменьшается (во втором блоке) длина очереди; по умолчанию это число равно единице.

В результате моделирования формируется статистика о количестве вхождений транзактов в очередь, о числе нулевых вхождений в очередь, о максимальной и средней длине очереди, о среднем времени пребывания в очереди и т.п.

Рассмотрим фрагмент блок–диаграммы модели с блоками занятия, задержки, освобождения устройства и регистрации очереди.



Программа работает и без блоков QUEUE и DEPART, при этом очередь есть, но не формируется статистика об очереди.

Анализ статистики показывает, что рабочий изготовил за смену 58 (1 еще обрабатывается) деталей, при этом его загрузка составила 84,8 %, среднее время изготовления детали – 6,898 минут. Средняя длина очереди 0,238 деталей, среднее время ожидания заготовки в очереди 1,933 минуты; максимальная длина очереди 2 детали; 25 заготовок сразу попали к рабочему (нулевое вхождение в очередь); без учёта этих заготовок среднее время нахождения детали в очереди составило 3,354 минуты.

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
MASTER 59 0.848 6.898 1 60 0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY (0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(–0) RETRY
QMASTER 2 0 59 25 0.238 1.933 3.354 0

14. Внутренняя логика работы пакета.

Список текущих событий (СТС) – включает транзакты, соответствующие событиям, время наступления которых равно или меньше (для заблокированных транзактов) текущего.

В ***список будущих событий*** (СБС) – входят транзакты, события с которыми произойдут в будущем.

Как отмечено ранее, из возможных шести списков событий обязательны СТС и СБС. При работе модели транслятор продвигает транзакты в модели, изменяя их положение в списках и блоках.

Рассмотрим внутреннюю логику пакета на примере.

```
GENERATE   8,4
QUEUE      QMASTER
SEIZE      MASTER
DEPART     QMASTER
ADVANCE    7,1
RELEASE    MASTER
TERMINATE

GENERATE   480
TERMINATE  1
START      1
```

Первым действием является ***ввод модели***. До этой фазы проверяются все операторы и в первую очередь отыскивается блок GENERATE (блок № 1 в выходной статистике). Так как операнды A и B этого блока соответственно равны 8 и 4, то определяется время прихода первого транзакта в блок. Допустим это время равно 10. Транзакту для дальнейшего движения присваивается номер 1 и он помещается в список будущих событий.

Далее для блока GENERATE № 8 следующему транзакту присваивается номер 2 и он также помещается в СБС со временем 480 единиц.

Читая команду START, транслятор заносит в счетчик завершения 1. На этом фаза ввода заканчивается.

Если в карте START задан операнд D (например, START 1, , , 1), то в выходной статистике для этого момента СТС (CEC) пуст, а в СБС (FEC) будет информация, которая содержится в общем случае в полях:

CEC

(CEC)XN PRI M1 ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

Здесь XN – номер транзакта; PRI – приоритет транзакта; M1 – время ввода в модель; ASSEM – номер семейства транзакта; CURRENT – номер блока, в котором находится транзакт в данный момент; NEXT – номер

блока, куда войдет транзакт; PARAMETER и VALUE – имя и значение параметра транзакта.

В данном рассмотрении будем учитывать только 5 полей, исключив поля ASSEM, PARAMETER и VALUE.

В нашем случае:

СТС – пусто;
СБС – 1 0 10 0 1
2 0 480 0 8

Поскольку СТС пуст, происходит ***коррекция таймера***. Таймер устанавливается в значение 10 (время движения первого транзакта) и транзакт № 1 перемещается в СТС. Информация о списках следующая:

СТС – 1 0 0 0 1
СБС – 2 0 480 0 8

Выполнение фазы просмотра. Транзакт № 1 из СТС продвигается в блок 1 (GENERATE). Так как транзакт может беспрепятственно пойти в блок 2 (QUEUE), то движение транзакта приостанавливается и создается его последователь, который будет двигаться через разыгранное время из интервала 8 ± 4, допустим через 5 единиц, т.е. в 10 + 5 = 15 единиц. Следующему транзакту присваивается № 3 и с этим временем он помещается в СБС. Транзакт же № 1 продвигается в блоки QUEUE, SEIZE, DEPART и ADVANCE. Так как в блоке ADVANCE он задерживается на (7 ± 1) единиц (допустим на 6 единиц), то он выводится из СТС и помещается в СБС со временем 10 + 6 = 16 единиц.

Так как транзакт № 1 прошел через блок SEIZE, транслятор просматривает СТС. Но он пуст. На этом фаза просмотра закончена. Содержимое списков событий:

СТС – пусто;
СБС – 3 0 15 0 1
1 0 16 5 6
2 0 480 0 8

Далее выполняется вторая фаза коррекции таймера и процесс продвижения транзактов продолжается по рассмотренному алгоритму.

15. Реализация дисциплины обслуживания «первым пришел – первым обслужен» внутри приоритетного класса.

В реальных системах часто возникают задачи, когда на одном оборудовании обрабатываются партии деталей различных типов (основные в данный плановый период и второстепенные – «фоновые», которые будут нужны в более поздние сроки). Рассмотрим этот случай на конкретном примере.

Пусть на одном обрабатывающем центре обрабатываются две группы деталей, причем детали первого типа имеют более низких приоритет, чем детали второго типа. Для деталей первого типа интервалы поступления (420 ± 360) с, интервалы обслуживания (300 ± 90) с; для деталей второго типа интервалы поступления (360 ± 240) с, интервалы обслуживания (100 ± 30) с. Время работы – 1 смена, т.е. 28800 с.

В данном случае реализуется дисциплина обслуживания: первым пришел – первым обслужен внутри приоритетного класса (рис. 3.1).

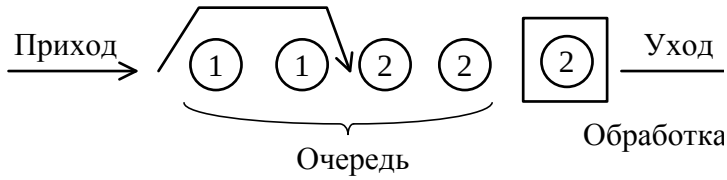


Рис. 3.1

Как бы ни поступали детали, они будут выстраиваться в очередь на обработку по приоритетам: в начале – с более высоким (2), в конце – с более низким (1).

При моделировании этой ситуации необходимы кроме модуля таймера два модуля, каждый для своего типа деталей. При единице модельного времени в 1 с и принятых обозначениях имен (ОТО – обрабатывающего центра и ОТОQ – очереди к нему) программа имеет вид:

```
;       Модуль обработки первого типа деталей
GENERATE    420, 360,,, 1
QUEUE       OTOQ
SEIZE       OTO
DEPART      OTOQ
ADVANCE         300, 90
RELEASE     OTO
TERMINATE
;       Модуль обработки второго типа деталей
```

```
GENERATE    360, 240,,, 2
QUEUE       OTOQ
SEIZE       OTO
DEPART      OTOQ
ADVANCE     100, 30
RELEASE     OTO
TERMINATE
; Модуль таймера
GENERATE    28800
TERMINATE   1
START       1
```

(Дальше вода. Кто возомнит себя компилятором, можно об этом тоже рассказать)

Анализ выходной статистики показывает, что количество обработанных деталей равно 140, коэффициент загрузки обрабатывающего центра равен 0,932, максимальная очередь равна 3, средняя очередь равна 0,77.

Если же в этой программе установить одинаковый приоритет для обоих типов деталей, например, задав операнды E в первых двух блоках GENERATE по умолчанию, то при незначительном увеличении количества деталей (142) и коэффициента загрузки оборудования (0,959) резко возрастут максимальная очередь (до 7), что приведет к необходимости увеличения размеров накопителя деталей, и среднее содержимое очереди (до 2,731), которое вызовет дополнительные потери от пролеживания деталей.

Другие дисциплины обслуживания можно реализовать с помощью средств, которые будут рассмотрены при изучении различных режимов блока TRANSFER и блоков списка пользователя.

16. Моделирование многоканальных устройств.

Комплекс однородных параллельно работающих одноканальных устройств с общим входом и общим выходом называют ***многоканальным устройством*** (МКУ). Примерами МКУ может быть бригада наладчиков, модуль из нескольких сборочных машин, участок станков с ЧПУ и т.п. Число одноканальных устройств, входящих в МКУ, называют его емкостью.

Работа МКУ в режиме его занятия и освобождения моделируется тремя операторами: командой STORAGE и блоками ENTER и LEAVE.

Команда STORAGE (хранилище) устанавливает емкость МКУ. Формат команды:

<метка> STORAGE A

В поле метки указывается символическое имя МКУ, в операнде **A** – целое положительное число, определяющее емкость МКУ.

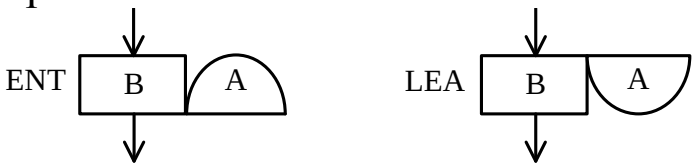
Блок ***ENTER*** (войти) моделирует занятие канала МКУ, а блок ***LEAVE*** (выйти) – освобождение канала МКУ.

Их форматы:

ENTER A, [B]
LEAVE A, [B]

В операнде **A** обоих блоков указывается имя МКУ, определенное в поле метки команды STORAGE. В операнде **B** указывается количество каналов, которые занимаются (блок ENTER) или освобождаются (блок LEAVE), по умолчанию B = 1.

Графическое изображение блоков:



Когда транзакт входит в блок ENTER, транслятор увеличивает на значение операнда **B** этого блока счетчик входов и текущее содержимое МКУ и уменьшает на это число его доступную емкость.

При входе транзакта в блок LEAVE уменьшается на значение операнда **B** текущее содержимое и увеличивается на это же число доступная емкость.

(*Дальше если спросит, имхо*)

При моделировании автоматически формируется статистика о работе МКУ относительно счетчика входов, текущего содержимого, максимального содержимого, среднего значения занимаемых каналов и

др. При этом надо иметь в виду, что вся информация формируется не по количеству транзактов, а по количеству каналов.

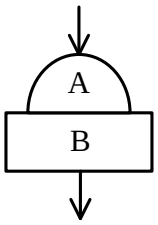
При исследовании систем с МКУ возможны различные дисциплины обслуживания: первым пришел – первым обслужен; первым пришел – первым обслужен внутри приоритетного класса и др.

Иногда возникает ситуация, когда МКУ становится недоступным (например, аварийное состояние устройства на его входе).

Недоступность МКУ моделируется блоком ***SUNAVAIL*** (S обозначает МКУ, AVAIL – доступно, UN – отрицание). Формат блока и изображение:

SUNAVAIL A

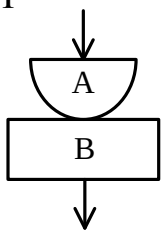
SUN



Доступность МКУ восстанавливается после прохождения транзактом блока ***SAVAIL***. Его формат и изображение:

SAVAIL A

SAV



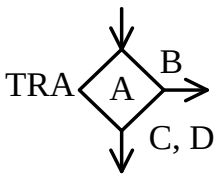
В операндах **A** этих блоков указывается имя МКУ (метка команды STORAGE).

Если в МКУ при его недоступности находились транзакты, то они будут обслуживаться, пока текущее содержимое МКУ не станет равным нулю.

17. Изменение маршрутов движения транзактов. Режимы безусловной и статистической передачи.

TRANSFER [A], [B], [C], [D]

Режимы передачи поля A:



1. Пробел - транзакт передается в блок, определяемый полем B.

2. "." - статистический режим; в поле A указано десятичное число, выражающее вероятность перехода в блок C; его дополнение до единицы указывает вероятность перехода в блок B.

3. ALL - транзакт последовательно пытается перейти в блоки, определяемые значениями B, B+D, B+2D.....C.

4. BOTH - транзакт последовательно пытается войти в блок B, затем в блок C, до тех пор, пока один из них станет доступным.

5. FN - функциональный режим: поле B является номером функции; следующий блок определяется суммой значения этой функции поля C.

6. P - параметрический режим: поле B является номером параметра; следующий блок определяется суммой значения этого параметра и поля C.

7. PICK - выборочный режим: блок выбирается с равной вероятностью из блоков с номерами: B, B+l,..., C.

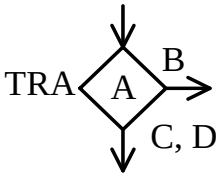
8. SBR - режим перехода к подпрограмме: номер текущего блока помещается в параметр, указанный в поле C, а транзакт передается в блок, номер которого указан в поле B.

9. SIM - одновременный режим: проверяется одновременное выполнение условий беспрепятственного движения транзактов в задерживающих блоках . Если условие выполняется, транзакт передается в следующий блок, в противном случае транзакт переходит на блок C.

Режим безусловной передачи. В этом режиме операнд A задается по умолчанию, в операнде B указывается метка оператора, куда направляется транзакт. Например, запись TRANSFER ,ALFA означает, что транзакт, вошедший в данный блок, направляется в оператор с меткой ALFA.

Режим статистической передачи. В этом режиме в операнде A после точки задается число (до трех знаков), показывающее долю (от тысячи) транзактов, входящих в данный блок, которые направляются по адресу, указанному в операнде C, остальные пойдут по адресу, указанному в операнде B. Если B задан по умолчанию, то эта часть транзактов пойдет в следующий за блоком TRANSFER оператор. Например, TRANSFER .200,, MET1 означает, что 20 % всех транзактов, вошедших в данный блок, пойдут по MET1, остальные 80 % – в следующий оператор.

18. Изменение маршрутов движения транзактов. Режимы BOTH и ALL.



TRANSFER [A], [B], [C], [D]

Режимы передачи поля А:

1. Пробел - транзакт передается в блок, определяемый полем В.

2. "." - статистический режим; в поле А указано десятичное число, выражающее вероятность перехода в блок С; его дополнение до единицы указывает вероятность перехода в блок В.

3. ALL - транзакт последовательно пытается перейти в блоки, определяемые значениями B, B+D, B+2D.....C.

4. BOTH - транзакт последовательно пытается войти в блок В, затем в блок С, до тех пор, пока один из них станет доступным.

5. FN - функциональный режим: поле В является номером функции; следующий блок определяется суммой значения этой функции поля С.

6. P - параметрический режим: поле В является номером параметра; следующий блок определяется суммой значения этого параметра и поля С.

7. PICK - выборочный режим: блок выбирается с равной вероятностью из блоков с номерами: B, B+l,..., C.

8. SBR - режим перехода к подпрограмме: номер текущего блока помещается в параметр, указанный в поле С, а транзакт передается в блок, номер которого указан в поле В.

9. SIM - одновременный режим: проверяется одновременное выполнение условий беспрепятственного движения транзактов в задерживающих блоках . Если условие выполняется, транзакт передается в следующий блок, в противном случае транзакт переходит на блок С.

Режим BOTH. В этом режиме в операнде А указывается слово BOTH (оба). Вошедший в данный блок транзакт последовательно пытается войти в операторы, адреса которых указаны в их полях метками, записанными в операндах В и С данного блока TRANSFER, пока попытка не будет успешной. Операнд В, как и в предыдущем режиме, может быть задан по умолчанию.

Режим ALL. В этом режиме в операнде А указывается слово ALL (все) в В и С – метки начального и конечного операторов, куда последовательно направляется транзакт с шагом по программе, указанным в операндеD. Например

```
    TRANSFER    ALL, MET1, MET2,1
MET1 SEIZE 1
    SEIZE 2
    SEIZE 3
MET2 SEIZE 4
```

Транзакт, вошедший в оператор TRANSFER, пытается войти в блок SEIZE 1, если он не принимает, то в блок SEIZE 2 и т. д.

19. Управляющие операторы очистки и сброса статистики.

Команда управления CLEAR (очистить) используется для подготовки модели к повторному прогону после переопределения операндов одного или нескольких операторов. Формат команды:
CLEAR [A]

В операнде **A** может быть указано OFF, тогда обнуляется вся статистика, кроме сохраняемых величин и логических ключей. Если операнд **A** задан по умолчанию (соответствует символу ON), то обнуляется вся статистика. При действии команды CLEAR все транзакты выводятся из модели. В обоих случаях значения генераторов случайных чисел не сбрасываются.

Команда управления RESET (сбросить) применяется для многократных прогонов модели при изучении работы моделируемой системы в течение длительного периода времени, включающего как переходный, так и стационарный режимы. Этот оператор не имеет операндов. Команда RESET сбрасывает в ноль статистику и относительное модельное время. При этом абсолютное модельное время не сбрасывается. Транзакты не выводятся из модели, а счетчик текущих значений каждого блока устанавливается равным числу транзактов, находящихся в блоке. Не сбрасываются в исходное состояние генераторы случайных чисел.

20. Стандартные числовые атрибуты.

СЧА – это условные обозначения объектов модели, к которым могут обращаться программы GPSS в процессе моделирования. Необходимость в СЧА обусловлена стремлением к минимизации программ. Все СЧА можно подразделить на два класса: системные СЧА, к которым пользователь может обратиться, но не может изменить (например C1 – относительное модельное время, AC1 – абсолютное модельное время, RNj – случайное число, генерируемое датчиком случайных чисел и другие), и СЧА объектов модели, которые могут изменяться пользователем (СЧА устройств, МКУ, очередей, таблиц, блоков, транзактов, объектов вычислительной категории, сохраняемых величин и др.).

Для обозначения СЧА используют одну–две буквы, определяющие групповое имя объекта (например, Q – длина очереди, FN – функция) и идентификатор в зависимости от способа адресации. При прямой адресации задают объект константой, например, SEIZE 10, или СЧАj, где j – номер объекта или $ имя, а имя – символическое имя объекта, например: SEIZE P1 (имя объекта содержится в первом параметре активного транзакта), SEIZE P$ABC (имя объекта содержится в параметре с именем ABC активного транзакта). При косвенной адресации СЧА определяют так: СЧА*СЧА объекта, например SEIZE P*X10 означает, что номер устройства содержится в параметре (P), номер которого определяется значением сохраняемой ячейки (X10).

Рассмотрим СЧА наиболее распространенных объектов.

СЧА одноканальных устройств

Код	Значение
Fj	Занятость: 1 – занято, 0 – не занято
FIj	Прерванность: 1 – прервано, 0 – не прервано
FVj	Доступность: 1 – доступно, 0 – не доступно
FRj	Коэффициент использования в долях тысячи
FTj	Среднее время использования устройств одним транзактом
FCj	Количество занятий устройства

СЧА многоканальных устройств

Код	Значение
Rj	Доступная емкость

Sj	Текущее содержимое
SAj	Среднее значение содержимого за определенное время
SRj	Коэффициент использования в долях тысячи
SMj	Максимально занятое (одновременно) количество каналов
SCj	Счетчик числа входов
STj	Среднее время использования одного канала
SEj	Занятость: 1 – занято, 0 – не занято
SFj	Заполненность: 1 – заполнено, 0 – не заполнено
SVj	Доступность: 1 – доступно, 0 – не доступно

СЧА очередей

Код	Значение
Qj	Текущее содержимое
QAj	Средняя длина очереди
QMj	Максимальная длина очереди
QCj	Число входов в очередь
QZj	Число нулевых входов в очередь
QTj	Среднее время пребывания транзакта в очереди для всех транзактов
QXj	Среднее время пребывания транзакта в очереди без нулевых входов

СЧА блоков

Код	Значение
Nj	Счетчик входов
Wj	Текущее содержимое

21. Переменные пользователя.

Переменные пользователя необходимо использовать при исследовании влияния вариации какого–либо фактора на показатели системы.

Они создаются командой ***EQU*** или PLUS–процедурами.

Оператор **EQU** имеет формат: **<метка> EQU A**

Эта команда присваивает имени переменной, указанной в поле метки, или переменной пользователя, указанной в поле метки этого операнда, числовое значение.

Пример 1: запись *ABC EQU 32.5* означает, что переменной пользователя ABC присвоено числовое значение 32.5.

Пример 2: запись *ALFA EQU 1* означает, что имени *ALFA* присвоится цифровое имя *1*, при этом в выходной статистике будет *FACILITY 1*, а не *FACILITY ALFA*.

22. Генераторы случайных чисел. Использование дискретных равномерных распределений.

Источником случайности в моделях являются генераторы случайных чисел. Их СЧА RNn, где n – номер генератора (совпадающий с его начальным числом). Ограничения на количество генераторов нет. Первые семь генераторов (RN1 – RN7) являются управляемыми. Пользователь может в необходимых случаях установить их начальные значения. При этом используется команда ***PMULT*** (установить значение генератора). Ее формат: PPMULT [A], [B], [C], [D], [E], [F], [G]

В операндах, заданных явно целыми положительными числами, устанавливаются необходимые начальные значения генераторов, остальные без изменений. Например, PMULT , , 32, , 40, , 72 устанавливает новые значения генераторов с номерами 3, 5, 7.

Все генераторы выдают равномерно распределенные числа в интервале от 0 до 0,999999 при вычислении функций и от 0 до 999 включительно – в остальных случаях.

Рассмотренные до сих пор интервалы генерации и обработки транзактов подчинялись равномерному закону распределения. Они задавались с помощью среднего значения и «полуразмаха» интервала, например: generate 20, 5 advance 30, 2

Закон равномерного распределения можно задать, используя библиотечный генератор дискретно-равномерного распределения ***DUNIFORM***. DUNIFORM (n, min, max)

Здесь n – номер генератора, min – левое крайнее, max – правое крайнее значения диапазона. Для приведенных примеров в этой записи generate (DUNIFORM (1, 15, 25))

Advance (DUNIFORM (1, 28, 32))

При использовании равномерно–распределенных чисел в переменных и других объектах рекомендуется вычислять равномерное распределение по алгоритмуA – B + (2 # B # RNn) / 999, где A и B – соответственно среднее значение и полуразмах диапазона.

23. Функции типа D.

Предположим, что случайная переменная принимает значения 2, 5, 6, 8, 10 с относительной частотой 0,1; 0,2; 0,25; 0,12; 0,33 соответственно, как изображено в таблице:

Значение случайной величины Y	Относительная частота	Суммарная частота X	Диапазон	Номер интервала
2	0,1	0,1	0 … 0,1	1
5	0,2	0,3	0,1+ … 0,3	2
6	0,25	0,55	0,3+ … 0,55	3
8	0,12	0,67	0,55+ … 0,67	4
10	0,33	1,00	0,67+ … 1,00	5

Пусть разыгранное число из интервала [0, 1] будет 0,328153. Оно попало в интервал № 3 и значение случайной величины равно 6.

Таким образом, для розыгрыша случайного числа в соответствии с распределением, определенным таблицей, необходимо иметь источник случайных чисел в интервале [0, 1] и суммарную частоту появления значений переменной. Эта информация задается с помощью дискретной функции ***FUNCTION*** (определить функцию). Ее формат:

<имя > FUNCTION RNn, Dm
X_1, Y_1 /…/ X_m, Y_m

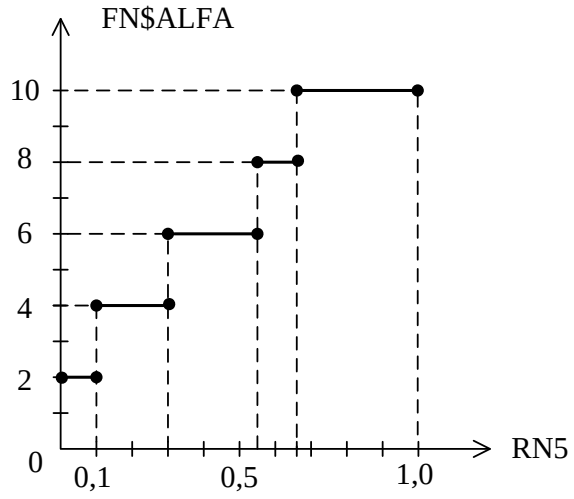
В поле метки записывается символическое имя функции, в операнде A – генератор случайных чисел, в B – символ D и количество пар значений аргумента и функции, во второй строке – значения суммарной частоты (аргумента) и случайной величины (функции). Эти пары разделяются наклонной чертой, причем значения суммарной частоты должны возрастать. Функция

записывается в самом начале программы (до первого оператора GENERATE).

Для значений, отраженных в рассматриваемой таблице, функция, например, с именем ALFA, имеет вид:

```
ALFA        FUNCTION        RN5,     D5
. 1, 2  /. 3, 5 /. 55, 6 /. 67, 8 / 1, 10
```

График этого распределения будет следующим:



При использовании дискретных неравномерных распределений в качестве аргумента можно задавать не только СЧА генераторов, а и других объектов, например, параметров транзактов (Pj), блоков (Wj или Nj) и т.п. например,

```
BETTA    FUNCTION    P1, D4
2, 10 / 3, 12 / 4, 15 / 5, 20
```

С помощью функции типа D можно задать и равномерное распределение. Например, значения переменной 2, 5, 6 и 8 выпадают с равной частотой, равной 0,25. Тогда дискретная функция будет:

```
ABC FUNCTION        RN1, D4
                . 25, 2 / . 5, 5 / . 75, 6 / 1, 8
```

24. Функции типа C.

Пусть следующая таблица задает значения частоты и соответствующий диапазон случайной величины:

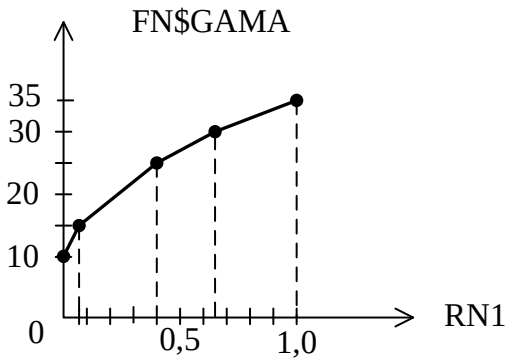
Относительная частота	Суммарная частота	Диапазон случайной величины
0	0	< 10
0,05	0,05	10 … 15 –
0,35	0,40	15 … 25 –
0,25	0,65	25 … 30 –
0,35	1,00	30 … 35 –

При моделировании непрерывных распределений выполняется линейная интерполяция для пары точек, находящихся по краям того интервала значений суммарной величины, на который выпало значение аргумента.

Непрерывная неравномерная функция будет иметь вид:

```
Gama FUNCTION        RN1, C5
                  0, 10 / . 05, 15 / . 4, 25 / . 65, 30 / 1, 35
```

График этой зависимости следующий:



Функция типа C может применяться и для моделирования дискретных распределений. Если случайная переменная распределена равномерно и непрерывно на интервале, например, от 3 до 10, то ее можно задать так:

```
ACD    FUNCTION    RN5, C2
              0, 3 / 1, 10
```

Так как наибольшее значение RN5 есть 0,999999, то значение переменной ACD никогда не достигнет величины 10, т.е. наибольшее целое число будет 9.

Функцию типа C целесообразно применять для задания равномерного распределения целых чисел в широком диапазоне. Например, если надо задать такие значения от 100 до 850 включительно, то можно записать:

```
KKK    FUNCTION    RN25, C2
  0, 100 / 1, 851
```

25. Функции типа E, L, M.

Если в дискретной функции в качестве значений переменной используются и стандартные числовые атрибуты, то при определении такой функции в операнде B указывается символ E. Такую функцию называют **атрибутивно–значимой**. Например,

```
MET  FUNCTION          P1, E3
2, V$ALFA / 5, V$BETTA / 8, V$GAMA
```

В этом случае при соответствующем значении аргумента (допустим P1=3) вычисляется значение случайной переменной функции MET через арифметическую переменную ALFA.

Если в дискретной функции типа D аргумент принимает последовательно целые значения 1, 2, 3,…, то в операнде B указывается символ L, а функцию называют **списковой**. Например:

```
AAA   FUNCTION    N$ALFA, L4
1,25 / 2, 40 / 3, 60 / 4, 80
```

Если же в списковой функции в качестве значений переменной используются и стандартные числовые атрибуты, то в операнде B указывается символ M, а функция называется **списковой атрибутивно–значимой**. Например:

```
KAP  FUNCTION  P5, M4
1, Q1 / 2, Q2 / 3, Q3 / 4, 12
```

26. Моделирование пуассоновских потоков.

Часто в системах массового обслуживания интервалы времени поступления и обслуживания требований (транзактов) подчиняются пуассоновскому закону. При их моделировании можно использовать в блоках GENERATE и ADVANCE в операнде A – среднее значение, а в операнде B – экспоненциальную функцию XPDIS с единичным средним значением. При этом значение времени поступления или задержки транзакта вычисляется так:

A#FN$XPDIS, (4.2)

где функция типа C с именем XPDIS задается 24 парами чисел:

XPDIS FUNCTION RN1, C24

0,0 /.1,.104 /.2,.222 /.3,.355 /.4,.509 /.5,.69 /.6,.915 /.7,1.2 /.75,1.38 /.8,1.6 /.84,1.83 .88,2.12/.9,2.3
/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2/.97,3.5/.98,3.9 /.99,4.6 /.995,5.3 .998,6.2/.999,7/.9998,8

Пусть, например, распределение поступления транзактов экспоненциальное, среднее значение равно 80 единицам. Это моделируется блоком:

GENERATE 80, FN$XPDIS

Если распределение времени обработки транзактов также экспоненциальное при среднем значении 42, то эта ситуация моделируется блоком:

ADVANCE 42, FN$XPDIS

В общих случаях предварительно (в начале программы) должна быть задана функция XPDIS.

В GPSS World экспоненциальное распределение можно задать с помощью библиотечного генератора оператором ***EXPONENTIAL***, формат которого

EXPONENTIAL (A, B, C)

Здесь A – номер генератора случайных чисел, B – величина сдвига,
C – среднее значение, причем B и C – вещественные значения.

Например, вместо приведенных выше операторов можно записать:

GENERATE (EXPONENTIAL (1, 0, 80))
ADVANCE (EXPONENTIAL (5, 0, 42))

27. Арифметические переменные.

Арифметическая переменная предназначена для вычисления арифметических выражений. Она определяется командой ***VARIABLE*** или ***FVARIABLE*** (переменная). В GPSS World различий между этими командами нет. В GPSS PC первая соответствует переменной с плавающей точкой (при этом отбрасывается дробная часть как в окончательном выражении, так и в промежуточных вычислениях), вторая – переменной с фиксированной точкой (дробная часть отбрасывается только в окончательном результате).

Формат переменной:

<имя> VARIABLE <выражение>

В поле метки указывается символическое имя, в поле операндов – выражение. Выражение – это набор данных, связанных арифметическими операциями. В GPSS World допустимы операции:

^ – возведение в степень (x^y соответствует x^y),

– умножение,

/ – деление,

\ – целочисленное деление (результат – целое число),

@ – деление по модулю (13 @ 3 = 1, результат остаток),

+ – сложение.

Порядок вычисления: ^, #, /, \, @, +, –. Допускаются круглые скобки, при этом вычисляется выражение в этих скобках.

Примеры:

```
ABC     VARIABLE    (P2 – P4) / 2
KAP     VARIABLE    (Q$OTO + Q$ALK) # 28.5
```

Арифметическая переменная имеет стандартные числовые атрибуты V$ имя.

28. Моделирование нормального распределения.

Случайная величина с нормальным распределением однозначно описывается заданием математического ожидания (среднего) и стандартного отклонения. При моделировании такого распределения применяют выражение:

$$GNORM = GNORM_{СТ.ОТ.} \# SNORM + GNORM_{М.ОЖ.}, \quad (4.3)$$

где GNORM – выборка из нормального распределения; SNORM – выборка из нормированного нормального распределения, имеющего нулевое матожидание и единичное стандартное отклонение; $GNORM_{СТ.ОТ.}$ и $GNORM_{М.ОЖ.}$ – реальные стандартное отклонение и матожидание соответственно.

Нормированная выборка задается функцией типа C с именем SNORM с использованием 25 пар чисел: SNORM FUNCTION RN1, C25

0, –5 /.00003, –4 /.00135, –3 /.00621, –2.5 /.02275, –2 /.06681, –1,5
.11507, –1.2 /.15866, –1 /.21186, –.8 /.27425, –.6 /.34458, –.4 /.42074,–.2
.5, 0 /.57926, .2 /.65542, .4 /.72575, .6 /.78814, .8 /.84134, 1/.88493, 1.2
.93319, 1.5 /.97725, 2 /.99379, 2.5 /.99865, 3 /.99997, 4 / 1,5

При использовании этого закона распределения определяется арифметическая переменная GNORM, например, при стандартном отклонении $GNORM_{СТ.ОТ.} = 5$ и матожидании $GNORM_{М.ОЖ.} = 20$ следующим образом:

GNORM FVARIABLE 5#FN$ SNORM + 20

Далее в программе делается ссылка на эту переменную, например:

GENERATE V $ GNORM

В связи с тем, что часто реальные случайные величины (временные интервалы и т.п.) положительны, необходимо следить за тем, чтобы матожидание по меньшей мере в 5 раз превышало стандартное отклонение.

Нормальное распределение можно промоделировать с помощью библиотечного генератора с использованием оператора NORMAL. Его формат:

NORMAL (A, B, C)

В A указывается номер генератора случайных чисел, в B – среднее значение, в C – стандартное отклонение. Например, для рассмотренного случая:

GENERATE (NORMAL (1, 20, 5))

29. Линейные сохраняемые величины.

В GPSS есть возможность использовать специальные ячейки памяти с начальными значениями, устанавливаемыми пользователем. Такие ячейки называют сохраняемыми величинами.

Стандартный числовой атрибут линейных сохраняемых величин – **Xj**, где **j** – целое положительное число или **$имя**, например, **X1** или **X$ABC**. Сохраняемые величины могут использоваться в качестве операндов, операторов, аргументов функций и таблиц. В начале моделирования все сохраняемые величины устанавливаются в нуль.

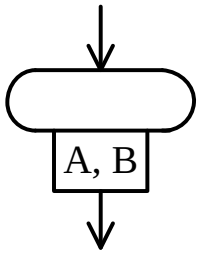
Для задания отдельным сохраняемым величинам ненулевых значений используют команду **INITIAL** (установить начальное значение). Ее формат:
INITIAL A, [B]

В операнде **A** указывается **Xj**; в операнде **B** – первоначальное значение: по умолчанию «1»; может быть СЧА, число, или UNSPECIFIED. *Например*:

INITIAL X10, INITIAL X$OMEGA, Q1, INITIAL X1, UNSPECIFIED

Для изменения значения сохраняемой величины при работе модели используется блок **SAVEVALUE** (сохранить величину). Формат и графическое изображение этого блока:

Операнд **A** задает цифровое или символическое имя (без указания символа	SAVEVALUE A, B	SAV



группового имени). Так как блок может работать в трех режимах (замещения, приращения и уменьшения), то в первом случае в операнде **A** указывается только имя сохраняемой величины, а в **B** – устанавливаемое значение (СЧА, число, строка в круглых скобках); во втором случае правым крайним знаком содержимого операнда **A** является знак «+» , тогда значение сохраняемой величины увеличивается на величину, указанную в операнде **B**; в третьем случае операнд **A** заканчивается знаком «–» и значение сохраняемой величины уменьшается на величину операнда B. *Примеры*:

SAVEVALUE 10,X$ALFA -(мне кажется правильно наоборот X$ALFA, 10)
SAVEVALUE MET+, 286
SAVEVALUE BCA–, (Q2 + Q3)

30. Матричные сохраняемые величины.

Для задания исходной матрицы применяют команды: описания матрицы **MATRIX** и задания первоначальных значений ее элементов INITIAL.

Формат команды MATRIX: **<имя> MATRIX A, B, C, [D], [E], [F], [G]**

Операнд **A** не используется (оставлен для совместимости с прежними версиями). Операнды **B – G** могут быть только целыми положительными числами: **B** – число строк, **C** – число столбцов матрицы во втором измерении, **D**, **E**, **F**, **G** – количество элементов в третьем, четвертом, пятом и шестом измерениях.

Наиболее распространен формат: **<имя> MATRIX , B, C**

СЧА матриц **MXj**, где **j** – это $ имя. Если **j** – целое число, то оно должно быть определено предварительно через переменную пользователя. *Например*: матрица задана командой *ALFA MATRIX , 3, 3*

Тогда ссылка на ее элемент, находящийся на пересечении первой строки и третьего столбца, имеет вид: *MX $ ALFA (1, 3)*

Если же необходимо изменить имя матрицы на числовое (например, 2), то справедлива запись: *ALFA EQU 2*

Ссылка на тот же элемент будет: *MX2 (1, 3)*

Команда **INITIAL** устанавливает по желанию пользователя первоначальные значения элементов матриц, отличные от нуля. Формат команды тот же, что и для линейных сохраняемых величин, только в операнде **A** этой команды указывается СЧА элемента матрицы. Смысл операнда **B** такой же, но уже для элемента матрицы. Когда всем элементам матрицы необходимо присвоить значение, равное «1», в операнде **A** указывается **MXj**, а операнд **B** задается по умолчанию; если необходимо установить значение – «не определено», то в **A** указывается **MXj**, а в **B** – **UNSPECIFIED**.

Примеры:

INITIAL MX $ ABC (2, 3), –328
INITIAL MX10 (1, 6), Q8
INITIAL MX $ MTD
INITIAL MX $ GAMMA, UNSPECIFIED

При этом запись во втором примере предполагает предварительное присвоение матрице цифрового имени с помощью оператора **EQU**.

В процессе моделирования значения элементов матрицы изменяются с помощью блока **MSAVEVALUE**. Его формат: **MSAVEVALUE A, B, C, D**

В операнде **A** задается имя матрицы, крайним правым знаком может быть «+» (режим приращения), знак «–» (режим уменьшения); операнд **B** задает номер строки; операнд **C** – номер столбца; в операнде **D** указывается заносимое, добавляемое или вычитаемое значение. Все операнды обязательны, могут быть заданы непосредственно или косвенно. Примеры:

MSAVEVALUE 1, 3, P5, 28.5
MSAVEVALUE ALFA+, Q1, Q5, M1
MSAVEVALUE P1, 1, (V $ 10 + Q2), P $ OMEGA
MSAVEVALUE 8, STROKA, STOLBEZ, X2

Последняя строка означает, что значение, определенное сохраняемой величиной номер 2, записывается в элемент матрицы номер 8, находящийся на пересечении строки, определяемой переменной пользователя STROKA, и столбца, определенного переменной пользователя STOLBEZ. При этом номер матрицы также определен предварительно с помощью оператора EQU. Матрицы более высоких порядков (3 и более) создаются с помощью PLUS–процедур

31. Булевы переменные.

Булева переменная предназначена для вычисления логических выражений, которые могут принимать одно из двух значений: «истина» или «ложь» (величина которого 1 или 0 соответственно). Эта переменная определяется командой ***BVARIABLE***. Ее формат:

<имя> BVARIABLE <выражение>

В выражении могут использоваться операторы трех типов: логические, отношения и булевы.

Логические операторы используются для ссылок на логическое состояние устройств, МКУ и ключей. Наиболее распространенные операторы:

FVj – устройство используется (1), в противном случае – 0;

FIj – устройство прервано (1), в противном случае – 0;

SFj – МКУ заполнено (1), в противном случае – 0;

SEj – МКУ пусто (1), в противном случае – 0;

LSj – ключ включен (1), в противном случае – 0;

Операторы отношения сравнивают численные величины:

'G' – больше,

'GE' – больше или равно,

'E' – равно,

'NE' – не равно,

'LE' – меньше или равно,

'L' – меньше.

Булевы операторы выполняют условия: 'AND' – И, 'OR' – ИЛИ.

Порядок выполнения: логические операторы и операторы отношения, затем – булевы операторы. Если есть круглые скобки, то сначала производятся вычисления в них. Например, выражение

KAPPA BVARIABLE C1 'GE' 500 ' AND' LS $ ALFA

истинно, если относительное модельное время больше или равно 500 и логический ключ ALFA включен.

В случае, если булева переменная задана через арифметическую переменную, то значение булевой переменной 0, если арифметическая переменная равна 0, в остальных случаях значение булевой переменной равно 1.

Булева переменная имеет СЧА: **BVj**, для приведенного примера это *BV$KAPPA.*

32. Проверка числовых выражений.

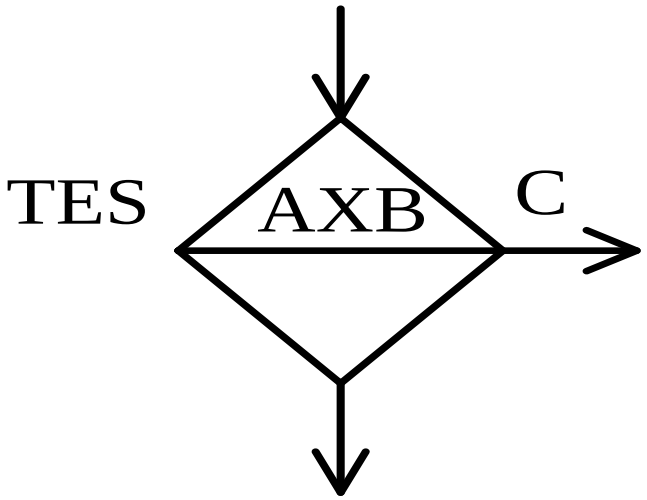
Блок TEST проверяет соотношение между операндами A и B через дополнительный операнд X, который может принимать такие же значения, как и операторы отношении (только апострофы не ставятся). 'G' – больше,'GE' – больше или равно,'E' – равно,'NE' – не равно,

'LE' – меньше или равно,'L' – меньше.

Формат блока:

TEST X A, B, [C]

Графическое изображение:



Этот блок может работать в двух режимах: *отказа* (клапана) и *условного перехода.*

1. В первом режиме операнд **C** не используется. Транзакт пойдет в следующий оператор только при выполнении условия, заданного операндом X. Например, при записи **TEST E Q1, 10** транзакт пойдет дальше, когда содержимое очереди **№ 1** будет равно **10.**

2. Во втором режиме в случае выполнения условия транзакт пойдет в следующий оператор, а в случае невыполнения – по метке, указанной в операнде **C**. Например, **TEST G P5, V$AAA, MET1** означает, что при условии, когда значение пятого параметра вошедшего тракзакта больше значения арифметической переменной **AAA**, транзакт пойдет в следующий оператор, если нет – то по адресу **MET1.**

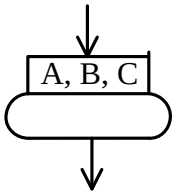
Блок **TEST** может использоваться и для проверки булевых переменных. Например, **TEST E BV $ DDD, 1** означает, что транзакт пойдет в следующий оператор только тогда, когда значение булевой переменной **DDD** станет равным единице.

33. Параметры транзактов, изменение их значений и уровня приоритетов.

При появлении в модели транзакты имеют нулевые значения параметров.

Для задания значений параметров используют блок ***ASSIGN*** (назначить). Его формат и графическое изображение:

ASSIGN A, B, [C]



В операнде А указывается номер параметра (число, СЧА, СЧА* параметр и может быть знак «+» или «–» в зависимости от режимов: замещения, приращения, уменьшения). В операнде В указывается новое значение, в С – модификатор–функция. Например:

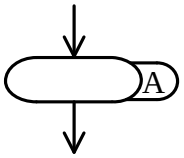
ASSIGN 1, 285

ASSIGN ABC+, Q10

В первом случае значение параметра № 1 вошедшего транзакта заменяется на число 285, во втором – к значению вошедшего транзакта с именем АВС прибавляется значение текущего содержимого очереди № 10.

Для задания в транзакт или его параметр абсолютного модельного времени используют блок ***MARK*** (отметить). Формат и графическое изображение блока:

MARK [A]

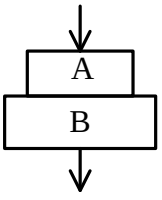


В операнде А указывается номер параметра, в который заносится значение абсолютного модельного времени, по умолчанию это время устанавливается вошедшему транзакту.

Есть и другие блоки для изменения значения параметров транзакта [1].

Для изменения уровня приоритета транзакта применяют блок ***PRIORITY*** (установить приоритет). Формат и графическое изображение:

PRIORITY A, [B]



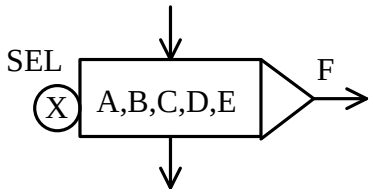
В операнде А указывается новый уровень приоритета (целое число, СЧА, СЧА*СЧА).

В операнде В может быть указан режим BU (т.е. BUFFER), когда транзакты переводятся в список текущих событий для возобновления просмотра этого списка.

34. Системы с параллельно работающими идентичными устройствами и раздельными очередями.

Часто возникают ситуации, когда в системе с несколькими очередями и устройствами реализуется такая дисциплина обслуживания: если одно из устройств свободно, то транзакт занимает его, если все устройства заняты, то транзакт присоединяется к самой короткой очереди. Такую стратегию можно промоделировать с помощью блока ***SELECT*** (выбрать) в условном режиме. Формат блока и графическое изображение:

SELECT X A, B, C, [D], [E], [F]



В условном режиме операнд X может принимать значения: G, GE, E, L, LE, NE, MIN, MAX, NE.MAX, NE.MIN. Здесь первые шесть значений аналогичны значениям операнда X блока TEST. Символы MAX и MIN означают наибольшее и наименьшее значения, NE.MAX и NE.MIN – ненаибольшее и ненаименьшее значения.

При использовании блока SELECT в логическом режиме операнд X принимает значения, определяющие логические условия работы устройств и МКУ

Операнды задают: E – групповое имя (СЧА) проверяемых объектов; B и C – наименьший и наибольший номера из проверяемых объектов; D – значение, с которым сравнивается атрибут (в случае, когда X = MIN (MAX) и X = NE.MIN (NE.MAX), D – не задается); A – номер параметра, в который заносится номер найденного типа группы; F – метка оператора, куда пойдет транзакт, если искомый объект не обнаружен.

Пусть, например, на участке работают восемь идентичных станков с пристаночными столами для накопления заготовок в случае занятости станков. Заготовка попадает на свободный станок; если таких нет, то присоединяется к наименьшей очереди. Эту ситуацию можно промоделировать так:

```
            SELECT E        2, 1, 8, 0, F, ALFA
ABC         QUEUE           P2
            SEIZE           P2
ALFA        SELECT MIN      2, 1, 8, ,Q
            TRANSFER        ,ABC
```

.В этом фрагменте устройства (с 1 по 8) проверяются на предмет свободы (F→E→O), если такое устройство есть, то его номер записывается во второй параметр активного транзакта, он проходит дальше (с нулевым вхождением в очередь) и попадает в свободное устройство с именем, определенным в P2, и т.д.

Если свободного устройства нет, то транзакт идет по метке ALFA к блоку SELECT в режиме MIN и после проверки содержимого очередей (Q) с первой по восьмую, присоединяется к наименьшей через оператор TRANSFER , ABC (номер минимальной очереди фиксируется также во втором параметре активного транзакта). При этом будет сформирована статистика относительно всех восьми устройств и очередей к ним, хотя в программе используется одна последовательность операторов.

35. Моделирование таблиц.

При исследовании систем возникает необходимость определения для какой–либо выборки среднего значения, стандартного отклонения, количества элементов, попадающих в установленные интервалы и т.п. информации. Такая табуляция осуществляется с использованием операторов ***TABLE*** (таблица) и ***TABULATE*** (табулировать).

Команда TABLE имеет формат:

<имя> TABLE A, B, C, D

В поле метки записывается символическое имя таблицы. В операнде A задается СЧА табулируемого элемента, в B – верхний предел первого интервала, в C – ширина промежуточных интервалов, в D – общее число интервалов. Например, MET1 TABLE M1, 10, 100, 8 задает таблицу с именем MET1 для табулирования времени пребывания в модели активного транзакта M1 при верхней границе первого значения интервала, равного 10, ширине интервалов в 100 единиц и общем числе интервалов таблицы, равном 8. Эта команда описывается в начале программы. Блок TABULATE имеет формат:

TABULATE A, [B]

В операнде A указывается имя таблицы, в которую заносятся табулируемые значения. В операнде B указывается весовой коэффициент, т.е. количество единиц, заносимых в интервал таблицы, по умолчанию – это значение равно единице.

Для использования описанной ранее таблицы этот блок будет:

TABULATE MET1

Блок TABULATE помещается в точку модели, для которой табулируется выбранный объект (в нашем случае – время «жизни» транзактов, например, перед удалением их из модели).

В данном пакете есть возможность табулировать время пребывания в очереди с помощью одной команды ***QTABLE***. Ее формат:

<имя> QTABLE A, B, C, D

Здесь в операнде A указывается имя очереди, назначение остальных операндов такое же, как и в общем случае. Например:

```
.
      MET     QTABLE  ALFA  , 8, 10, 5
.
              QUEUE   ALFA
.
              DEPART  ALFA
.
```

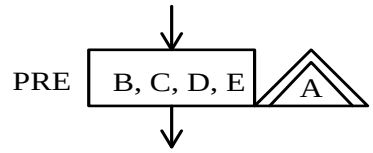
В таблицу с именем MET будет автоматически занесена информация об очереди ALFA.

36. Моделирование захвата устройств.

Для моделирования захвата и освобождения устройств используются блоки ***PREEMPT*** (захватить) и ***RETURN*** (возвратить).

Формат и графическое изображение блока PREEMPT

PREEMPT A, [B], [C], [D], [E]



В операнде A указывается имя устройства, подлежащего захвату.

Блок PREEMPT может работать или в приоритетном режиме, или в режиме прерывания. В первом случае в операнде B указывается PR, во втором этот операнд задается по умолчанию.

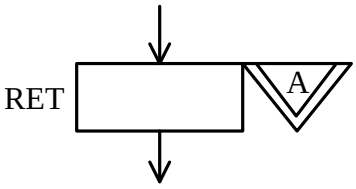
В операнде C указывается метка, куда направляется прерванный транзакт.

В операнде D указывается номер параметра прерванного транзакта, в котором записывается оставшееся время обслуживания.

Операнд E определяет право на дообслуживание: по умолчанию – сохраняется право, при указании RE – не сохраняется.

Блок RETURN фиксирует факт освобождения устройства от захвата. Его формат и изображение:

RETURN A



В операнде A указывается имя освобожденного устройства.

В модели устройство может быть захвачено любое количество раз различными транзактами, но не два раза подряд одним транзактом. Транзакт не может войти в блок, если в приоритетном режиме устройство захвачено транзактом с равным или более высоким приоритетом, чем активный транзакт.

Рассмотрим примеры использования блока PREEMPT:

```
PREEMPT     OTO
PREEMPT     OTO, PR
PREEMPT     OTO, PR, MET, , RE
```

В первом случае блок работает в режиме прерывания. Прерванный транзакт никуда не направляется, после обслуживания захватчика будет дообслужен.

В последнем случае прерванный транзакт теряет право на дообслуживание, поэтому по метке MET его можно направить, например, в блок TERMINATE, т.е. на удаление из модели. Этого нельзя было сделать, если в последнем случае операнд E задать по умолчанию.

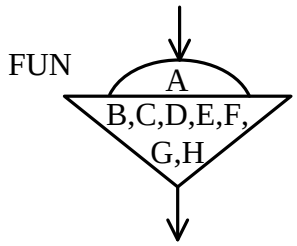
37. Моделирование недоступности устройств.

При моделировании неисправностей устройств и реализации различных дисциплин обслуживания могут быть использованы блоки FUNAVAIL и FAVAIL.

Блок ***FUNAVAIL*** (F обозначает устройство, UNAVAIL – недоступно) моделирует недоступность одноканального устройства.

Формат и изображение блока:

FUNAVAIL A, [B], [C], [D], [E], [F], [G], [H]



В операнде A указывается имя устройства, которое становится недоступным.

Назначение остальных операндов зависит от характера транзактов, занимавших устройство до перевода его в недоступное состояние.

Операнды B, C, D соответствуют транзактам, занимавшим устройство после входа в него через SEIZE и PREEMPT .

Операнды E, F соответствуют прерванным транзактам.

Операнды G, H соответствуют транзактам, находящимся в списке задержки.

В операнде B задаются режимы работы с транзактами в период недоступности:

- CO (continue – продолжение) – обслуживание продолжается;
- RE (remove – удаление) – транзакт удаляется по адресу, указанному в операнде C;
- по умолчанию – обработка прерывается, будет продолжена, когда устройство станет доступным.

В операнде D задается номер параметра транзакта, занимавшего устройство, в который записывается оставшееся время обслуживания после того, как устройство стало недоступным.

В операнде E задаются режимы работы с ранее прерванными транзактами:

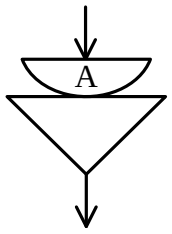
- CO – продолжение обслуживания;
- RE – удаление по адресу, указанному в операнде F;
- по умолчанию – прерванные ранее транзакты остаются в списке прерываний и не обслуживаются в устройстве в период его недоступности.

Операнд G определяет режимы работы с транзактами, находящимися в списке задержки в период недоступности устройства:

- CO – продолжение обслуживания;
- RE – удаление по адресу, указанному в операнде H;
- по умолчанию – оставление транзактов в списке задержки до момента, когда устройство станет доступным.

Блок ***FAVAIL*** (устройство доступно) моделирует доступность устройства. Формат и изображение блока:

FAVAIL A



В операнде A указывается имя устройства, которое становится доступным.

Пусть, например, модуль моделирования аварийной ситуации имеет вид:

```
        GENERATE        (NORMAL  (1, 100, 10))
        FUNAVAIL        OTO, CO , , , RE , MET1 , RE , MET1
        ADVANCE         5, 2
        FAVAIL      OTO
MET1        TERMINATE
```

При единице модельного времени, равной 1 часу, распределение интервалов наступления аварийных ситуаций подчиняется нормальному закону при среднем значении 100 часов и стандартном отклонении 10 часов.

При переводе устройства OTO в недоступное состояние продолжится обработка транзакта (если он находился в устройстве); транзакты, ранее прерванные, и находившиеся в списке задержки, будут удалены из модели (через MET1 TERMINATE). После восстановления устройства в течение (5 ± 2) часов оно становится доступным.

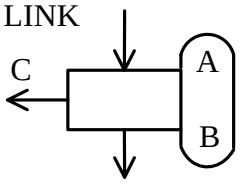
38. Применение списков пользователя.

Списки пользователя (СП) организуются как с целью экономии машинного времени (из–за устранения потерь на просмотр СТС для поиска заблокированных транзактов), так и для реализации различных дисциплин обслуживания.

Ввод транзактов в список пользователя осуществляется блоком ***LINK*** (внести в список), вывод – блоком ***UNLINK*** (вывести из списка).

Формат и изображение блока LINK:

<имя> LINK A, B, [C]



В операнде А указывается символическое или цифровое имя списка пользователя.

Операнд В задает место списка, куда направляется транзакт.

Допустимые значения операнда В:

FIFO – в конец СП;

LIFO – в начало СП;

PR – в порядке убывания приоритета;

P – в порядке возрастания значения параметра;

M1 – в порядке возрастания относительного времени.

Операнд С указывает альтернативный выход. Если операнд С не задан (безусловный режим), то индикатор СП устанавливается в «1». Все транзакты заносятся в СП в порядке, определенном операндом В. Если операнд С задан, то проверяется индикатор СП. Если при этом индикатор в положении «1», то вошедший транзакт заносится в СП, в порядке определенном операндом В. Ели же индикатор окажется в положении «0», то он переводится в «1», а транзакт направляется по адресу, указанному в операнде С.

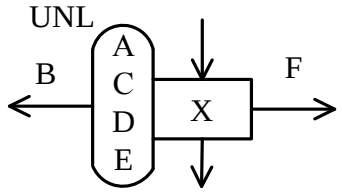
Например:

```
LINK    FAC, FIFO
LINK    DDD, M1, MET1
```

В первом случае транзакты присоединяются к СП по правилу FIFO. Во втором случае, если индикатор СП будет в положении «0», транзакт пойдет на метку MET1, а не в СП.

Рассмотрим блок UNILINK. Его формат и изображение:

<имя> UNLINK X A, B, C, [D], [E], [F]



В операнде A указывается символическое или цифровое имя СП.

В операнде B записывается метка, по которой направляются выведенные из СП транзакты.

В операнде C записывается число выводимых из СП транзактов или слово ALL (все), по умолчанию – ALL.

Операнды D и E вместе с операндом X задают порядок вывода транзактов из СП.

В дополнительном операнде X указываются операторы отношения (G, GE, L, LE, NE), по умолчанию E (равно). При этом сравнивается значение операнда D со значением операнда E.

В операнде D могут быть указаны булева переменная, номер параметра, слово BACK (обратно).

Если в D указана булева переменная, то операнды X и E пусты. Булева переменная вычисляется относительно транзакта из СП. Если BVj = 1, транзакт удаляется из СП, если BVj = 0 для всех транзактов СП, то вошедший транзакт пытается пройти по адресу, указанному в операнде F, если последний опущен, то в следующий оператор.

Если в D указан параметр, а операнд E отсутствует, то значение параметра вошедшего транзакта сравнивается со значением такого же параметра транзактов из СП, если E не пропущен, то со значением, указанным в операнде E. Удаляемые транзакты направляются по адресу, указанному в операнде B.

При использовании в операнде D ключевого слова BACK (операнд E отсутствует) транзакты выводятся из конца СП.

Операнд F указывает метку, по которой направляется транзакт, вошедший в блок UNLINK, если ни один транзакт не выводится из СП.

Например, блок UNLINK ABC, MET, ALL выводит все транзакты из списка пользователя с именем ABC по правилу LIFO и направляет их по адресу MET. Блок UNLINK BBB, ALFA, 1, BACK выводит из конца списка BBB один транзакт и направляет его по адресу ALFA.

Всего из–за сочетания значений операндов X, D и E может быть восемь вариантов вывода транзактов. Они рассмотрены в [3].

Пример 6.2. Составить модель работы системы с реализацией дисциплины обслуживания FIFO, если транзакты генерируются с интервалами от 17,5 до 22,5 единиц, распределенными по равномерному закону, а задерживаются при обработке в одноканальном устройстве по экспоненциальному закону со средним значением 10 единиц.

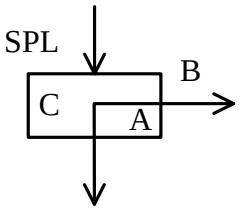
Программа обработки 10000 транзактов с использованием блоков LINK и UNLINK при выводе из СП по одному транзакту имеет вид:

```
        GENERATE        20, 2.5
        LINK            ALFA, FIFO, MET1
MET1    SEIZE           ROBOT
        ADVANCE         (EXPONENTIAL (1, 0, 10))
        RELEASE         ROBOT
        UNLINK          ALFA, MET1, 1
        TERMINATE       1
        START           10000
```

39. Оператор SPLIT.

Наряду с блоком GENERATE для ввода в модель транзактов применяется блок ***SPLIT*** (расщепить). Этот блок порождает копии входящего в него транзакта. Формат и изображение оператора:

SPLIT A, [B], [C]



В операнде A указывается количество копий (в виде константы или СЧА).

В операнде B указывается метка, по которой направляются копии транзактов. Порождающий транзакт проходит в следующий оператор. Если операнд B задан по умолчанию, то копии также проходят в следующий оператор.

В операнде C указывается номер параметра, в котором упорядочиваются номера копий транзакта. Если номер порождающего транзакта *k*, то после блока SPLIT его номер будет *k* + 1, а номера копий *k* + 2, *k* + 3 и т.д.

Различные номера копий могут быть использованы для задания адресов, по которым они могут пойти. Например:

```
ABC          FUNCTION   P5, D3
2, BLOK A / 3, BLOK B / 4, BLOK C
.
             SPLIT      3, FN$ABC, 5
```

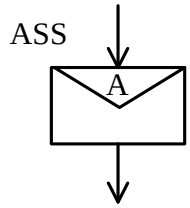
.Копии транзактов будут направлены по меткам (адресам) BLOK A или BLOK B или BLOK C.

40. Операторы соединения, сборки синхронизации.

Транзакты, порожденные с помощью блока SPLIT, образуют ансамбль. Для работы с транзактами, принадлежащими ансамблю, используются блоки ASSEMBLE, GATHER, MATCH.

Блок ***ASSEMBLE*** (соединить) применяется для объединения нескольких транзактов одного семейство в один и вывода его из модели. Формат и изображение блока:

ASSEMBLE A



В операнде А указывается количество объединяемых транзактов. Например:

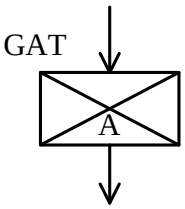
ASSEMBLE 10

объединяет 10 транзактов, при этом 9 уничтожаются, а 1 уходит в следующий оператор.

Блок ***GATHER*** (собрать) применяется для накопления транзактов до количества, указанного в операнде А.

Формат и изображение блока:

GATHER A

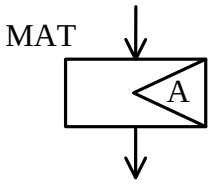


Когда количество вошедших в блок транзактов достигнет значения, указанного в операнде А, все они пойдут в следующий оператор.

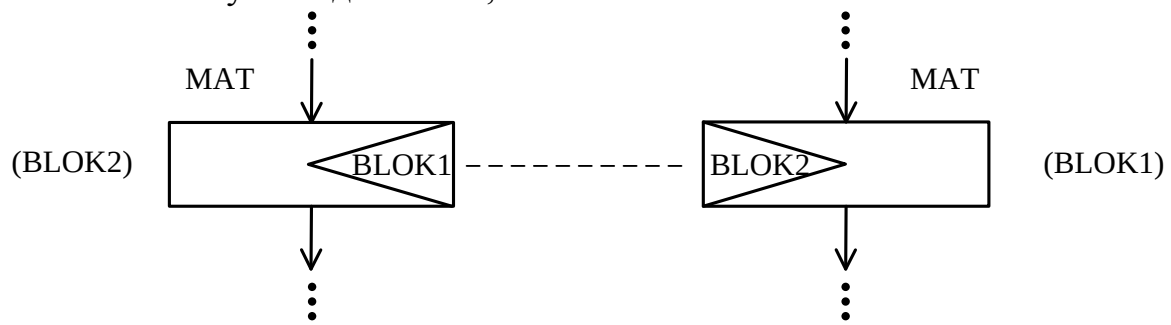
Блок ***MATCH*** (синхронизировать) осуществляет синхронизацию движения транзактов по двум направлениям.

Формат и изображение блока:

<метка> MATCH A



При этом используются два блока, как показано ниже:



Здесь в качестве операнда А левого блока используется метка правого (сопряженного) блока и наоборот.

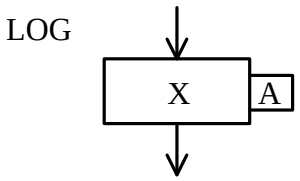
41. Моделирование логического управления.

Для моделирования логического управления используются логические ключи, представляющие собой объекты, которые могут принимать одно из двух значений: включено (1), выключено (0).

Логический ключ моделируется блоком ***LOGIC*** (воздействовать на логический ключ).

Его формат и изображение:

LOGIC X A



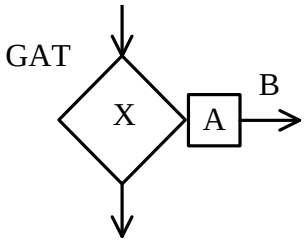
Этот блок изменяет состояние логического ключа, имя которого указано в операнде A, в соответствии с вспомогательным операндом X. Операнд X может принимать значения: S – установить (включить); R – сбросить (выключить); I – инвертировать (изменить состояние на противоположное).

Например: LOGIC R 12 переводит логический ключ в состояние «выключено», а LOGIC I ALFA изменяет состояние ключа с именем ALFA на противоположное.

42. Проверка логических состояний объектов модели.

Для проверки состояния логического ключа используется блок ***GATE*** (впустить). Его формат и изображение:

GATE X A, [B]



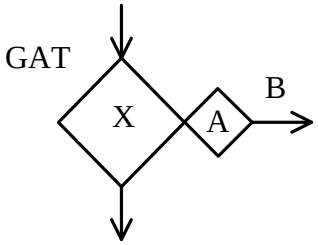
Этот блок может использоваться в режиме отказа (операнд B не задается), когда транзакт пройдет в следующий оператор лишь при успешном результате проверки ключа, имя которого указано в операнде A, или в режиме условной передачи (в операнде B указывается метка, по которой направляется транзакт при безуспешном результате проверки).

В дополнительном операнде X указываются символы:

LS – равен 1, если ключ включен; 0 – если выключен;

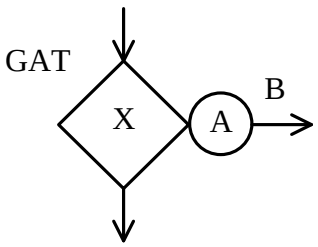
LR – равен 1, если ключ выключен; 0 – если включен.

При использовании блока GATE для проверки состояния других объектов модели его формат и режимы такие же.

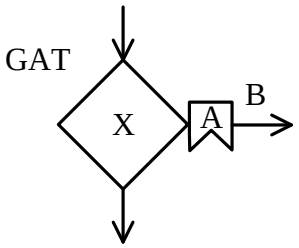


Для проверки состояния одноканальных устройств в операнде A указывается имя или номер устройства; в операнде X: U (занято), NU (не занято); I (захвачено), NI (не захвачено); FV (доступно), FNV (не доступно).

При проверке состояния многоканальных устройств в операнде A указывается имя или номер МКУ; в операнде X: SE (пусто), SNE (не пусто); SF (заполнено), SNF (не заполнено); SV (доступно), SNV (не доступно).



При проверке состояния синхронизации исследуемого транзакта в операнде A указывается метка блока MATCH; в операнде X: M (есть ли в блоке MATCH ожидающий синхронизации транзакт), NM (нет такого транзакта).



1. Особенности моделирования гибких автоматических линий механообработки.

Рассматриваются на основе анализа следующего примера:

Рассмотрим ГАЛ механообработки, состоящую из склада SKL, обрабатывающего модуля ОМО, транспортного робота TRM (рис. 7.1).

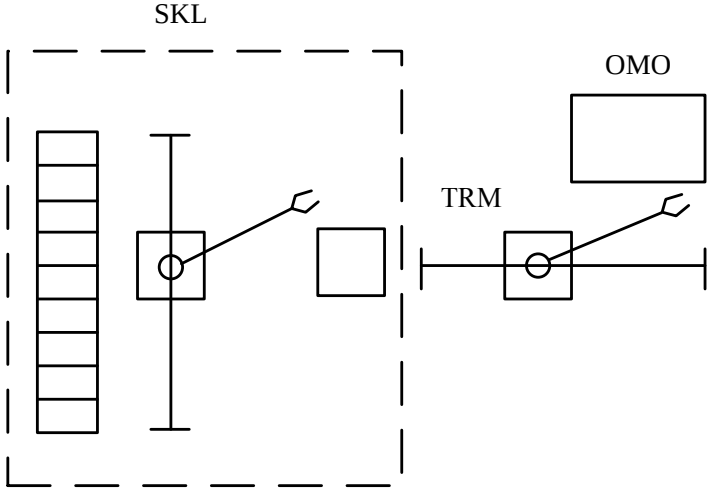


Рис. 7.1

Работа линии соответствует диаграмме (рис. 7.2), на которой приняты обозначения: ПСК и РСК – соответственно получение заготовок и размещение деталей на складе; ОбМ – обработка в модуле; ТРМ и ТРС – соответственно транспортировка к модулю и складу.

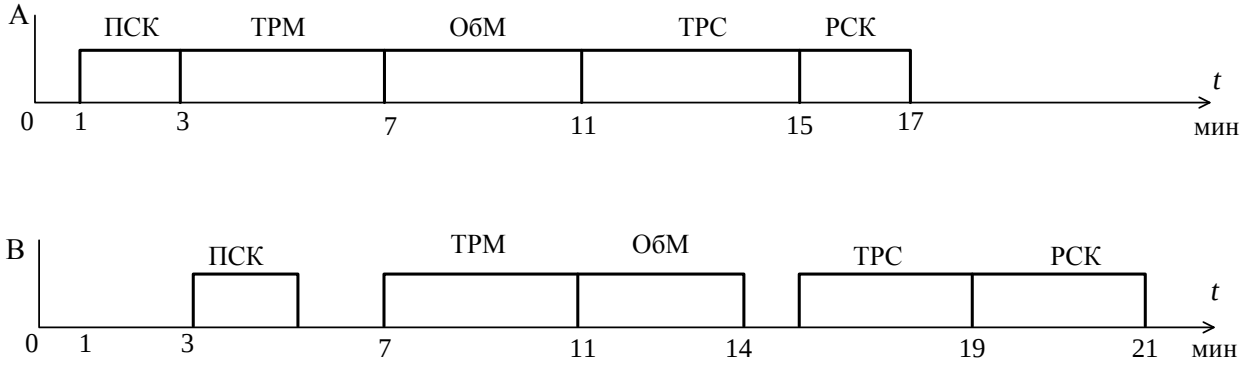


Рис. 7.2

Промоделируем работу линии в течение смены при коэффициенте использования оборудования 0,9. Учтем равномерный закон распределения продолжительности интервалов получения заготовок и размещения деталей на складе, пусть он будет (2 ± 1) мин (на диаграмме указано среднее значение – 2 мин).

Алгоритм моделирования гибкой линии приведен на рис. 7.3. Его особенность заключается в том, что для проверки незанятости транспортного робота используются блоки 5, 6, 12, а для проверки незанятости склада – блок 14. В случае невыполнения проверяемых условий блокируется дальнейшее продвижение по алгоритму.

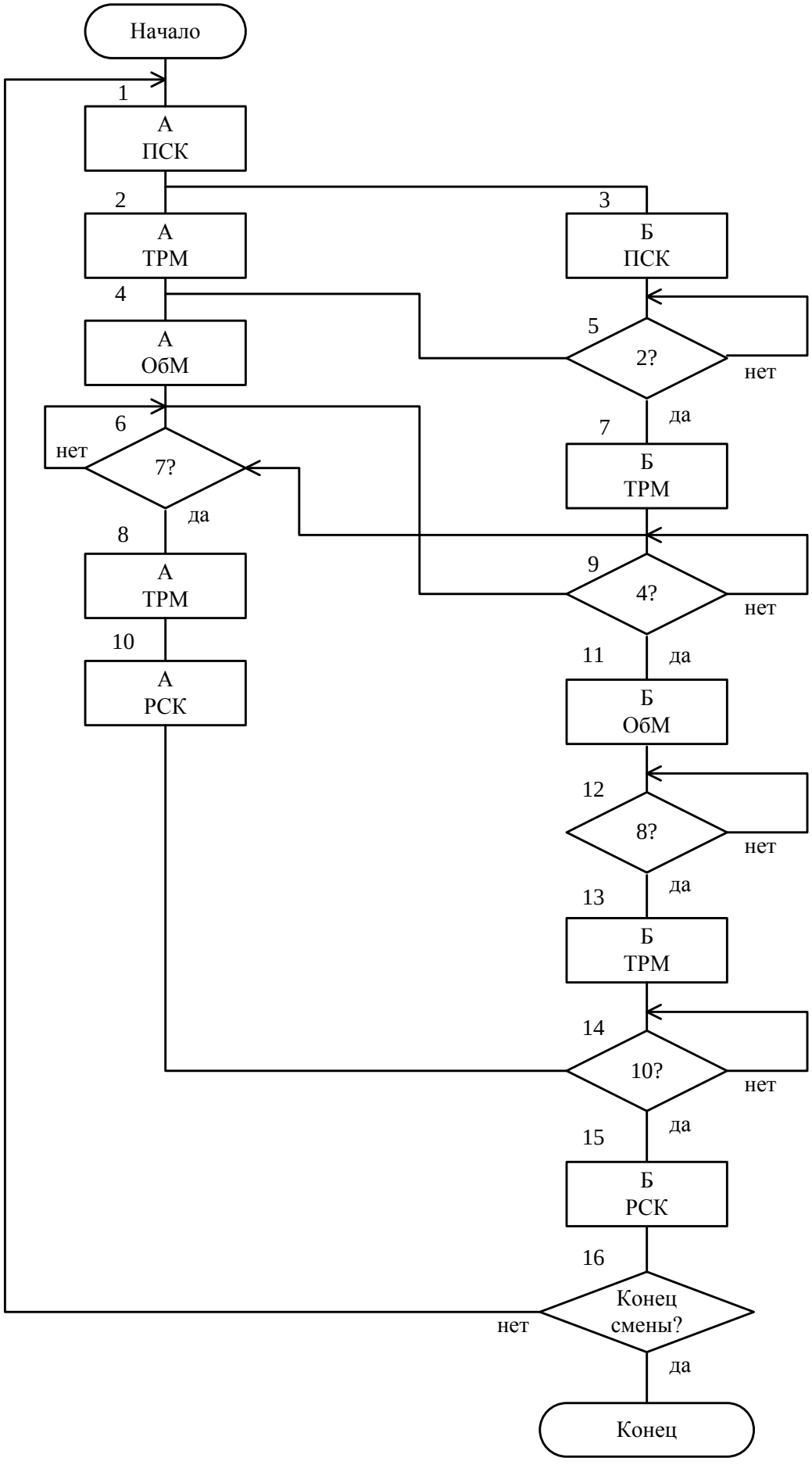

Начало
1
А
ПСК
2
А
ТРМ
3
Б
ПСК
4
А
ОбМ
5
2?
нет
да
6
нет
7?
да
7
Б
ТРМ
8
А
ТРМ
9
4?
нет
10
А
РСК
11
да
Б
ОбМ
12
8?
нет
да
13
Б
ТРМ
14
10?
нет
да
15
Б
РСК
16
Конец
смены?
нет
да
Конец

Рис. 7.3

При разработке программы используем для моделирования разветвлений оператор SPLIT, а для моделирования проверки отмеченных конфликтных ситуаций – операторы LOGIC и GATE. За единицу модельного времени примем 1 мин. Продолжительность времени моделирования будет 480 × 0,9 = 432 единицы. Для наглядного сопоставления программы и алгоритма в качестве цифровой части меток операторов программы используем номера блоков алгоритма.

Программа модели представлена ниже.

```
            GENERATE        , , , 1
MET1        SEIZE           SKL
            ADVANCE             2, 1
            RELEASE             SKL
            SPLIT           1, MET3
            SEIZE           TRM
            ADVANCE             4
            RELEASE             TRM
            SPLIT           1, MET5
            SEIZE           OMO
            ADVANCE             4
            RELEASE             OMO
            SPLIT           1, MET9
            TRANSFER        , MET6
MET3        SEIZE           SKL
            ADVANCE             2, 1
            RELEASE             SKL
MET5        LOGIC I         PER1
            GATE LS         PER1, MET7
            TERMINATE
MET6        LOGIC I         PER2
            GATE LS         PER2, MET8
            TERMINATE
MET7        SEIZE           TRM
            ADVANSE             4
            RELEASE             TRM
            SPLIT           1, MET6
            TRANSFER        , MET9
MET8        SEIZE           TRM
            ADVANCE             4
            RELEASE             TRM
            SPLIT           1, MET12
            SEIZE           SKL
            ADVANCE             2,1
            RELEASE             SKL
            TRANSFER        , MET14
MET9        LOGIC I         PER3
            GATE LS         PER3, MET11
            TERMINATE
```

```
MET11    SEIZE          OMO
         ADVANCE            3
         RELEASE            OMO
MET12    LOGIC I        PER4
         GATE LS        PER4, MET13
         TERMINATE
MET13    SEIZE          TRM
         ADVANCE            4
         RELEASE            TRM
MET14    LOGIC I        PER5
         GATE LS        PER5, MET15
         TERMINATE
MET15    SEIZE          SKL
         ADVANCE            2,1
         RELEASE        SKL
         TEST LE        M1, 432, KONEC
         TRANSFER           , MET1
KONEC    TERMINATE      1
         START          1
```

Результаты моделирования: за смену обработано 44 детали двух типов; при этом загрузка обрабатывающего модуля составила 34,6 %; загрузка склада – 40,2 %; загрузка транспортного робота – 79,1 %.

Для повышения производительности ГАЛ целесообразно использовать более быстродействующий транспортный робот. Как показало моделирование, целесообразно применение в этой линии транспортного робота со временем перемещения 1 мин. В этом случае возрастает загрузка основного оборудования и количество обработанных деталей (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Зависимость показателей ГАЛ механообработки от времени перемещения транспортного робота

Время перемещения TRM, мин	**Коэффициент загрузки, %**			**Количество обработанных деталей, шт.**
	OMO	**SKL**	**TRM**	
4	34,6	40,2	79,1	44
3	40,4	49,8	69,2	50
2	46,6	55,0	52,9	58
1	53,5	62,2	30,6	68

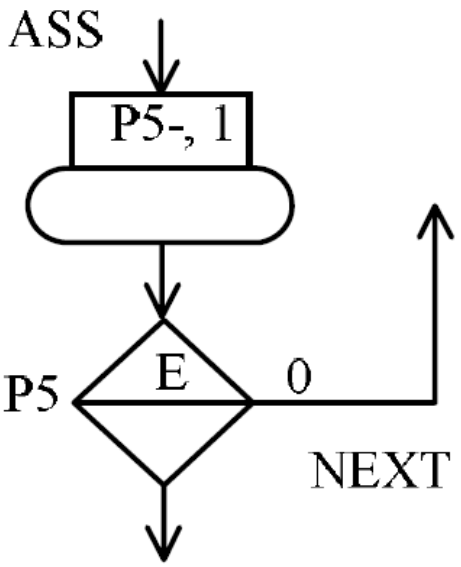
44. Моделирование разомкнутой гибкой линии механообработки.

Смотри вопрос 43, но алгоритм должен быть без связи конца и начала. А также в программе нужно убрать возврат на метку 1 (met1, начало алгоритма) и первый должен быть без единицы.

Т.е. первая строка выглядит GENERATE, и третью с конца (TRANSFER , MET1) вообще убрать надо.

45. Моделирование цикла

Для организации цикла можно применить рассмотренные ранее блоки ASSIGN и TEST с проверкой равенства нулю уменьшенного значения, как показано на следующем рисунке:

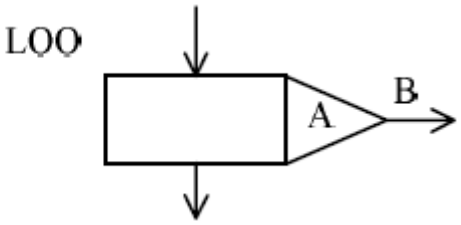


Эта схема соответствует ситуации, когда, например, детали в паллете убывают (транзакты идут по метке NEXT) до тех пор, пока не обнулится содержимое паллеты (тогда транзакт пойдет дальше по программе).

Для моделирования такого цикла можно использовать специальный блок ***LOOP*** (организовать цикл).

Его формат и изображение:

LOOP A, B



В операнде A указывается параметр, содержимое которого после уменьшения на единицу сравнивается с нулем. В операнде B указывается метка начального в цикле оператора. Для рассмотренного фрагмента в этом случае будет запись: LOOP P5, NEXT

46. Особенности моделирования гибкого штамповочного производства.

Рассмотрим ГАУ штамповки деталей из штучных заготовок. Участок содержит пресс PRESS, четырехпозиционное поворотное загрузочное устройство ZNU, приемное устройство PRU, промежуточный приемный стол PRS (рис. 7.4).

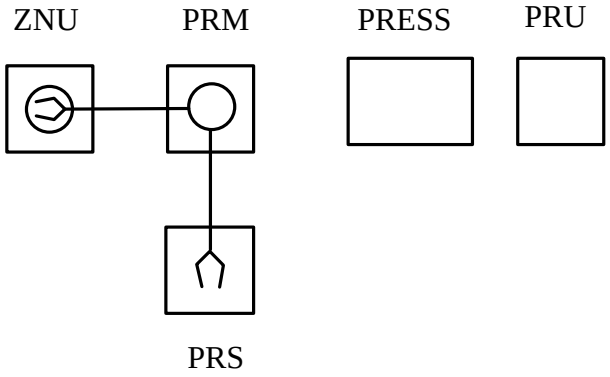


Рис. 7.4

Движение заготовок, полуфабрикатов и деталей осуществляется слева направо. Продолжительность цикла работы манипулятора (опустить руку, взять заготовку, поднять руку, повернуться на 90°, опустить руку, положить заготовку, поднять руку, возвратиться в исходное положение) составляет 3,7 с. Кассета вмещает 300 заготовок, тара под отштампованные детали – 2100 деталей. Продолжительность поворота загрузочного устройства на 90° – 10 с, перегрузка приемного устройства после его заполнения – 180 с, рабочего цикла прессования детали – 60/63 с.

Промоделируем работу участка в течение двух смен при коэффициенте использования рабочего времени равном 0,8. Оценим производительность участка и загрузку оборудования.

При составлении алгоритма моделирования введем следующие обозначения: K – количество деталей, n – счетчик тары под готовые детали (так как емкость тары под детали – 2100, а кассеты – 300 деталей, то n = 1, 2,..., 7). С учетом коэффициента использования участка и сменности его работы модельное время будет $0{,}8 \cdot 2 \cdot 28800 = 46080$ с.

Алгоритм моделирования участка представлен на рис. 7.5.

Принимаем за единицу модельного времени 0,01 с. При разработке программы для организации цикла используем оператор TRANSFER в режиме безусловной передачи. При моделировании счетчиков используются операторы SAVEVALUE в режимах замещения и приращения, а также оператор TEST.

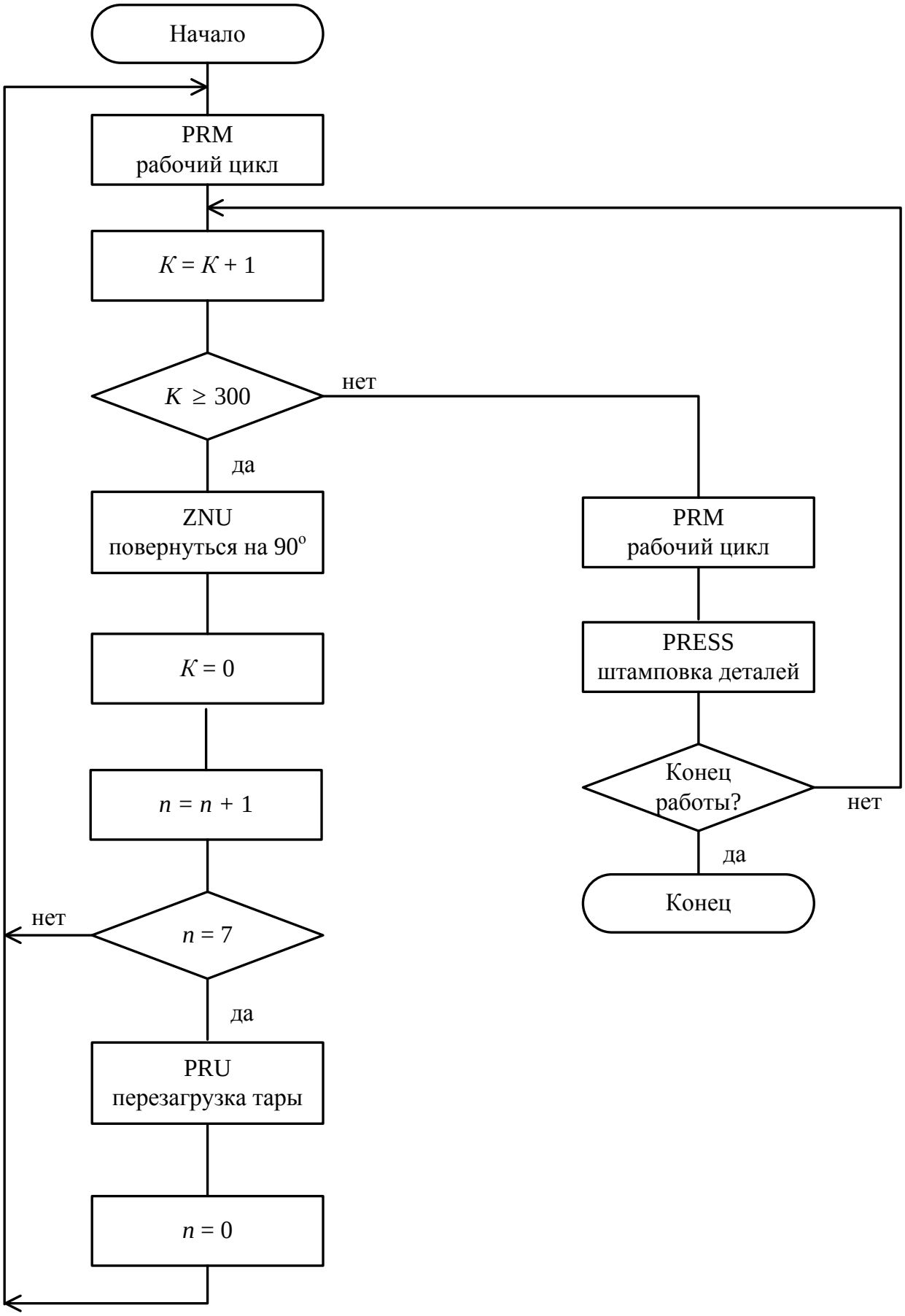


Рис. 7.5

Программа имеет вид:

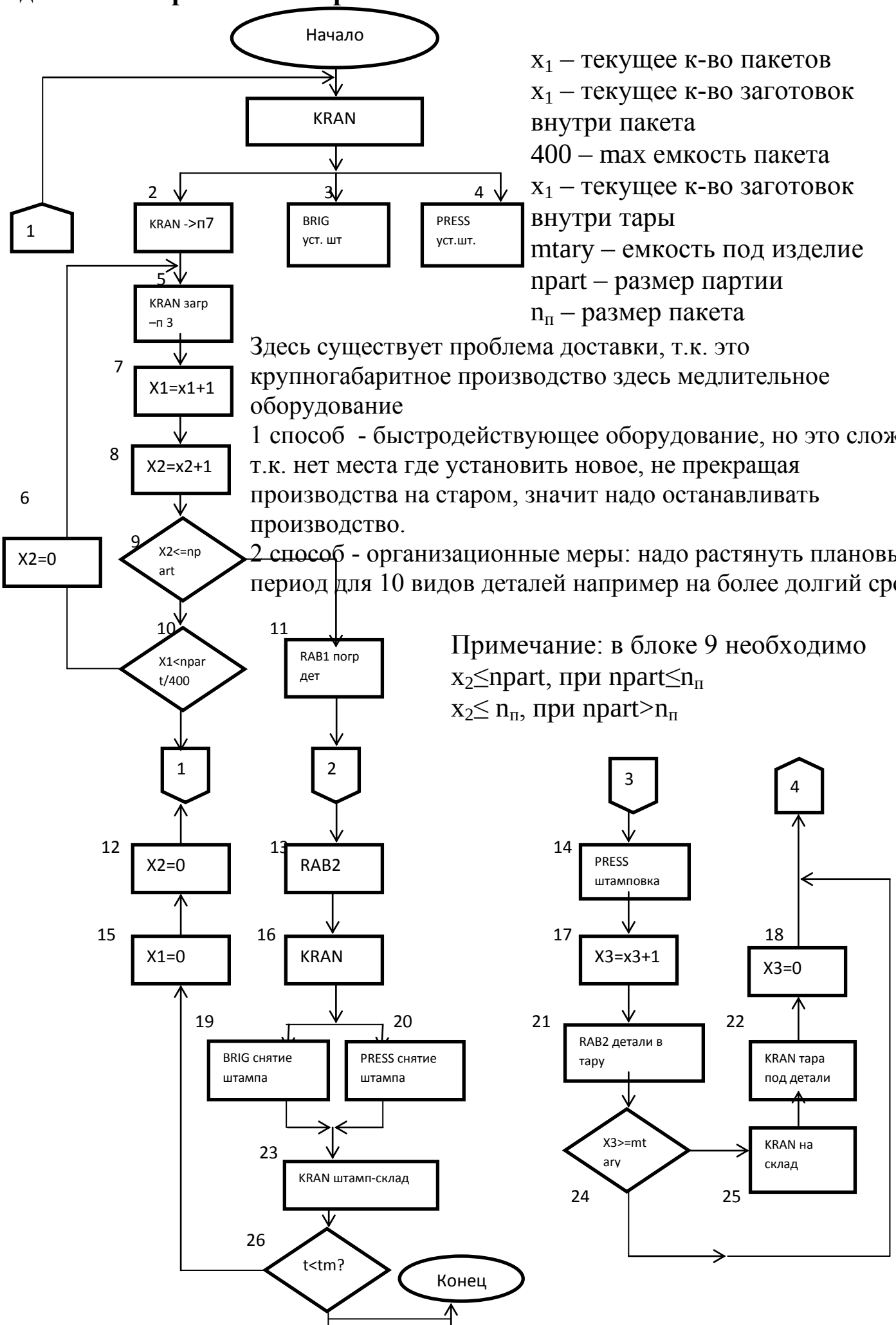
```
VRA          VARIABLE          6000/63
GENERATE                 , , , 1
```

```
        ASSIGN          1, 4608000
MET1    SEIZE                   PRM
        ADVANCE         370
        RELEASE         PRM
MET2    SAVEVALUE       1+, 1
        TEST  GE        X1, 300, MET 3
        SEIZE           ZNU
        ADVANCE         1000
        RELEASE         ZNU
        SAVEVALUE       1, 0
        SAVEVALUE       2+, 1
        TEST E          X2, 7, MET 1
        SEIZE           PRU
        ADVANCE         18000
        RELEASE         PRU
        SAVEVALUE       2, 0
        TRANSFER        , MET 1
MET3    SEIZE                   PRM
        ADVANCE         370
        RELEASE         PRM
        SEIZE           PRESS
        ADVANCE         V$VRA
        RELEASE         PRESS
        TEST LE         M1, P1, MET 4
        TRANSFER        , MET 2
MET4    TERMINATE               1
        START           1
```

В результате моделирования установлено, что за время 46080с отштамповано 9765 деталей; коэффициенты загрузки оборудования составили: пресса 19 %, манипулятора 78,6 %.

Со слов Кати (Лукъянец рассказал на консультации)
[17:36:18] в кодах там нужно использовать loop и assign для наших программ
[17:36:42] наша цель улучшить производство
[17:37:17] нам нужно найти оптимальное количество видов деталей на нашей гибкой линии, например 10 видов
[17:37:47] если сделать 30-40, то производительность снижается
[17:38:07] это за плановый период
[17:38:40] из-за большого количества переналадок снижается производительность
[17:39:13 далее мы определяемся какая это будет система, замкнутая или разомкнутая
[17:41:27] ждя малогабаритной в итоге, мы подбираем оптимальное число видов производимых деталей, быстродействующее оборудование, максимальную загрузку
[17:42:00] + можно использовать транспортные тележки не на 1 модуль, а на 2

47. Моделирование гибкого участка штамповки крупногабаритных деталей. Разработка алгоритма.



x_1 – текущее к-во пакетов
x_1 – текущее к-во заготовок внутри пакета
400 – max емкость пакета
x_1 – текущее к-во заготовок внутри тары
mtary – емкость под изделие
npart – размер партии
$n_п$ – размер пакета

Здесь существует проблема доставки, т.к. это крупногабаритное производство здесь медлительное оборудование

1 способ - быстродействующее оборудование, но это сложно, т.к. нет места где установить новое, не прекращая производства на старом, значит надо останавливать производство.

2 способ - организационные меры: надо растянуть плановый период для 10 видов деталей например на более долгий срок

Примечание: в блоке 9 необходимо
$x_2 \leq$ npart, при npart$\leq n_п$
$x_2 \leq n_п$, при npart$> n_п$

48. Моделирование гибкого участка штамповки крупн деталей. Разработка программ модулей счетчиков заготовок, пакетов заготовок, тары для изделий.

Код программы здесь, но для уверенности в себе нужно почитать вопрос 46.

```
Trab1       equ         5;2
Npart       equ         50,100,200,300,400,800,1200,1600
Mtary       equ         200,400
            Generate    ,,,1
Blok1       seize       kran
            Advance     360,60
            Release     kran
            Split       1,bliki34
            Seize       kran
            Advance     360,60
            Release     kran
Blok5       seize       kran
            Advance     360,60
            Release     kran
            Savevalue   1+,1
            Savevalue   2+,1
Blok9       test le     x2,400,blok10
            Transfer    blok17
Bloki34     seize       brig
            Seize       press
            Advance     3600,600
            Release     brig
            Release     press
            Terminate
Blok10      test l      x1,(npart/400),blok13
            Savevalue   2,0
            Transfer    ,blok5
Blok11      seize       rab1
            Advance     trab1
            Release     rab1
            Seize       press
            Advance     30,2
            Release     press
            Savevalue   3+,1
            Seize       rab2
            Advance     10,2
            Release     rab2
            Test ge     x3,mtary,blok8
            Seize       kran
            Advance     360,60
            Advance     360,60
            Release     kran
            Savevalue   x3,0
            Transfer    ,blok8
```

Blok13	seize	rab2
	Advance	180,20
	Release	rab2
	Seize	kran
	Advance	360,60
	Release	kran
	Seize	brig
	Seize	press
	Advance	3600,600
	Release	brig
	Release	press
	Seize	kran
	Advance	3600,600
	Release	kran
	Test l	m1,518400,konec
	Savevalue	1,0
	Savevalue	2,0
	Transfer	,blok1
Konec	terminate	1
	Start	1