

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1966.3.03>

*Г. ФЕЛИЦИУС*

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ ТРАНЗИТОМ И ЧЕРЕЗ СКЛАД

При продвижении продукции производственно-технического назначения от производителей к потребителям различают две формы поставок продукции: транзитную, когда изготовитель продукции направляет ее непосредственно потребителю, и складскую, когда продукция поступает к потребителю через опосредствующее звено — склад, базу.

Каждая из этих форм имеет свои положительные и отрицательные стороны и широко используется в практике материально-технического снабжения. При этом для снабжения предприятий, потребляющих продукцию в больших количествах, преимущественно применяется транзитная форма поставок, а мелкие потребители чаще снабжаются через склады снабженческо-сбытовых организаций.

При поставках определенного вида продукции существует определенное соотношение между транзитным и складским снабжением, которое поддерживается транзитными нормативами, утвержденными для достаточно широкой номенклатуры изделий [1]. В то же время следует отметить, что для большей части номенклатуры изделий действующие транзитные нормативы не являются оптимальными и требуют более глубокого экономического обоснования.

Однако в настоящее время нет удовлетворительной методики экономического обоснования соотношения транзитных и складских поставок, в связи с чем исследование процесса поставок транзитом и через склад производится лишь для ограниченного числа видов изделий, а рекомендации этих исследований весьма трудно использовать в практике поставок.

В настоящей работе делается попытка частично восполнить пробел в данной области и предлагается метод исследования соотношения транзитных и складских поставок при помощи электрических моделей, позволяющих выявить основные закономерности процесса поставок в простой и наглядной форме, без громоздких расчетов и вычислений.

В отечественной экономической и технической литературе почти отсутствуют указания на использование методов электрического моделирования при исследованиях экономических процессов в социалистическом народном хозяйстве. Между тем, в последнее время в США и ФРГ проведен ряд представляющих несомненный интерес работ по электрическому моделированию некоторых процессов капиталистической экономики [2].

Из сказанного вытекает и другое назначение данной работы — указать на эффективность применения электрических моделей-аналогов при исследовании экономических процессов в социалистической экономике, где для этого имеются неограниченные возможности.

Обычно при моделировании различных процессов, в том числе и экономических, не стремятся к излишней детализации, а стараются получить модель, приближенно описывающую явления, но раскрывающую основные закономерности и соотношения, характерные для процесса в целом.

Поэтому естественно, что предлагаемые электрические модели экономических процессов поставок не отображают всех закономерностей и экономических связей, присущих этим процессам, а представляют собой их приближенную аналогию, при которой наряду с потерей некоторой части уже имеющейся информации приобретает весьма важная дополнительная информация об основных закономерностях поставок.

Здесь уместно будет привести высказывание о моделировании В. Штоффа, с которым трудно не согласиться: «Мы полагаем, что существенными признаками модели как своеобразного способа отражения познания действительности являются: 1) наглядность, 2) наличие известного отвлечения, т. е. элемента абстракции, 3) наличие некоторого элемента научной фантазии, свойственной представлению, 4) использование аналогии как логического метода построения, 5) наличие элемента гипотетичности со всеми присущими научной гипотезе требованиями» [3]. Предлагаемые ниже электрические модели процессов поставок в той или иной мере содержат элементы перечисленных выше определений модели.

Прежде чем перейти к построению моделей поставок, следует высказать два замечания.

Во-первых, необходимо иметь в виду, что сами поставки продукции, как правило, осуществляются дискретно — партиями, следовательно, поставки дискретны во времени, поэтому можно считать правомерным, если моделирование процессов поставок также будет дискретно во времени.

Во-вторых, рассматривая процесс образования совокупности какого-либо отдельного вида изделий, можно заметить, что производство его обычно сосредоточено на незначительном количестве предприятий-поставщиков, а потребляются эти изделия, как правило, большим количеством предприятий-потребителей.

Для упрощения рассуждений будем в дальнейшем полагать, что каждое отдельное изделие производится на одном предприятии-поставщике и поставляется в виде суммарных поставок, равных поставкам всех поставщиков, вместе взятых.

Целесообразно также распределить все множество потребителей на определенные группы в зависимости от объема потребления и определить нижнюю и верхнюю границы потребления, т. е. установить самого мелкого и самого крупного потребителей, а, следовательно, и весь диапазон исследуемых поставок.

По нашему мнению, за нижнюю границу диапазона потребления следует принять количество продукции, необходимой тем потребителям, которые используют в квартал минимально возможный для одновременной отгрузки объем продукции, а верхнюю границу определять либо в соответствии со сложившейся практикой снабжения, либо на основании временной методики планирования норм производственных запасов, утвержденной Госпланом СССР [4], по которой максимальный объем поставки средним транзитным потребителям установлен в шесть транзитных норм в квартал. Естественно, что выбранные в процессе исследований граничные пределы потребления должны в дальнейшем уточняться.

Наряду с границами потребления необходимо установить или выбрать нижнюю и верхнюю границы поставок.

За нижнюю границу следует принять элементарную поставку — объем продукции, минимально возможный для одновременной отгрузки по железной дороге, а за верхнюю границу поставки — максимальную одновременную поставку, выбранную на уровне фактической, наибольшей для данного вида изделий поставки (например, вагон, контейнер, наиболее крупное место упаковки и т. п.).

В настоящей работе будут формализованы и моделированы следующие составляющие процессов поставок в зависимости от соотношения транзитных и складских поставок:

- 1) процесс формирования производственных запасов у потребителей;
- 2) процесс формирования складских запасов в системе баз и складов снабженческо-сбытовых организаций;
- 3) изменение величины издержек обращения, связанных со складским хранением и дополнительными автоперевозками поставок изделий;
- 4) себестоимость железнодорожных перевозок поставок изделий различной величины.

Из-за почти полного отсутствия информации не будет формализован процесс изменения издержек обращения при заключительно-подготовительных операциях у поставщиков.

Стоимость погрузочно-разгрузочных операций у поставщиков и потребителей принята одинаковой как при складских, так и при транзитных поставках и, следовательно, не зависит от соотношения транзитного и складского снабжения.

Формализация процессов поставок основывается на использовании общезвестного соотношения поставок

$$I = T \frac{P}{Q},$$

где  $I$  — интервал между поставками;

$T$  — планируемый период поставок;

$P$  — величина одновременной поставки изделий;

$Q$  — общий объем поставки в планируемом периоде.

Если указанное выражение представить в виде

$$\frac{I}{T} = \frac{1}{Q} P, \quad (1)$$

то можно заметить, что оно является уравнением прямой  $Y = KX$ , где  $Y = \frac{I}{T}$ ;  $K = \frac{1}{Q}$  и  $X = P$ , и, следовательно, уравнение относительного интервала поставок в системе координат с ординатами  $\frac{I}{T}$  и абсциссами  $P$  выразится в виде прямой линии, проходящей через начало координат с углом наклона  $K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{Q}$ , обратно пропорциональным объему поставок в планируемом периоде.

Формализацию процессов поставок необходимо начать с простых геометрических построений поля и линий, соответствующих поставкам различного объема.

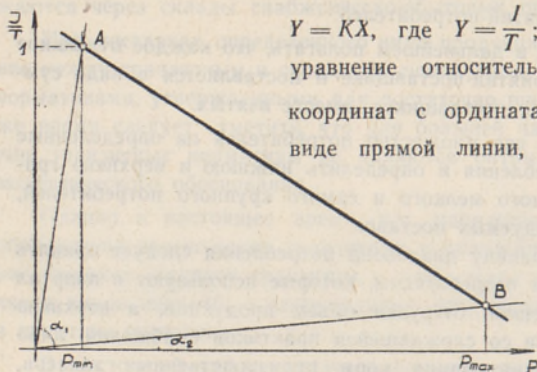


Рис. 1.

Построение поля, граничных точек и линий, соответствующих поставкам, показано на рис. 1 и 2, где по оси абсцисс отложены равные значения минимальной поставки  $P_1$  столько раз, сколько раз  $P_1$  (округленно) содержится в значении  $P_{\max}$  — наибольшей поставки (на рис. 2 — 10 раз), а по оси ординат отложена величина относительного интервала поставок  $\frac{I}{T}$  с максимальным значением  $\frac{I}{T} = 1$ . Если через начало координат провести две прямые линии — первую под углом  $\alpha_1$  к оси абсцисс, соответствующую минимальному объему потребления  $Q_{\min} = q_1 = P : \left(\frac{I}{T}\right)_{\max} = \operatorname{ctg} \alpha_1$ , и вторую под углом  $\alpha_2$  к оси абсцисс, соответствующую максимальному объему потребления  $Q_{\max} = q_m = P : \left(\frac{I}{T}\right)_{\min} = \operatorname{ctg} \alpha_2$ , — то точка пересечения первой прямой с ординатой, восстановленной из точки  $P_1$  к оси абсцисс, и точка пересечения второй прямой

с ординатой, восстановленной из точки  $P_{\max}$  будут граничными точками, соответствующими экстремальным значениям объемов и интервалов поставок (рис. 1, точки  $A$  и  $B$ ). Можно предположить, что при увеличении объема потребления от  $Q_{\min}$  до  $Q_{\max}$  пропорционально будет меняться (уменьшаться) относительный интервал между поставками  $\frac{I}{T}$ , а следовательно прямая линия, соединяющая точки  $A$  и  $B$ , является граничной линией, на которой будут располагаться промежуточные точки, соответствующие определенным объемам и интервалам поставок для всех потребителей, заключенных в интервале потребления между  $Q_1$  и  $Q_{\max}$ .

Исследование фактических поставок продукции показывает, что не все точки соответствующих объемов и интервалов поставок располагаются на прямой, но они всегда расположены вблизи теоретической линии поставок  $AB$ , которая имеет определенный угол наклона к оси абсцисс, обусловленный тем, что с увеличением объема потребления и величины поставок относительный интервал поставок  $\frac{I}{T}$  пропорционально уменьшается.

Для построения поля соответствующих объемов и интервалов поставок всей совокупности потребителей необходимо последнюю разбить на определенные интервальные группы в зависимости от объема потребления и величины поставок.

Деление потребителей на интервальные группы в зависимости от объема потребления следует производить следующим образом.

На оси абсцисс из равноотстоящих точек, соответствующих величине поставок  $P_1, P_2, P_3$  и т. д., восстанавливаются ординаты до пересечения с теоретической линией поставок, а точки пересечения соединяются с началом координат прямыми линиями, которые изобразят средние объемы потребления интервальных групп  $q_1, q_2, q_3$  и т. д. (рис. 2).

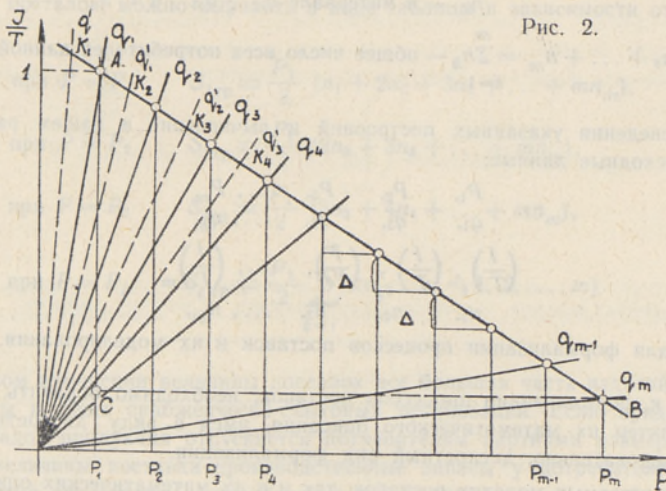


Рис. 2.

Границами интервальных групп будут прямые, проведенные из начала координат через середины отрезков теоретической линии поставок (на рис. 2 — пунктирные линии, проходящие через точки  $K_1, K_2, K_3$  и т. д.).

Вычисление промежуточных значений средних и граничных объемов потребления различных интервальных групп производим в соответствии с графическими построениями (рис. 2) следующим образом:

1. Вычисляем наименьший интервал поставки для самых крупных потребителей

$$\left(\frac{I}{T}\right)_{\min} = \frac{P_{\max}}{Q_{\max}}$$

2. Вычисляем разность между наибольшим и наименьшим интервалами поставок

$$\left(\frac{I}{T}\right)_{\max} - \left(\frac{I}{T}\right)_{\min} = 1 - \frac{P_{\max}}{Q_{\max}}$$

(отрезок  $AC$  на рис. 2).

3. Вычисляем величину приращения интервала поставок при увеличении объема поставки на  $P_1$ :

$$\Delta = \frac{\left(\frac{I}{T}\right)_{\max} - \left(\frac{I}{T}\right)_{\min}}{P_{\max} - P_1} = \frac{Q_{\max} - P_{\max}}{Q_{\max} (P_{\max} - P_1)}$$

(отношение отрезков  $AC : BC$ ).

4. Вычисляем средние объемы промежуточных значений поставок

$$q_2 = \frac{P_2}{1 - \Delta} = \frac{2P_1}{1 - \Delta}, \quad q_3 = \frac{3P_1}{1 - 2\Delta}, \quad q_4 = \frac{4P_1}{1 - 3\Delta} \quad \text{и т. д.}$$

5. Вычисляем граничные объемы промежуточных значений поставок

$$q'_1 = \frac{P_1}{2} : \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right) = \frac{P_1}{2 + \Delta}, \quad q'_1 = \frac{3}{2} P_1 : \left(1 - \frac{\Delta}{2}\right) = \frac{3P_1}{2 - \Delta},$$

$$q'_2 = \frac{5}{2} P_1 : \left(1 - \frac{3}{2} \Delta\right) = \frac{5P_1}{2 - 3\Delta}, \quad q'_3 = \frac{7P_1}{2 - 5\Delta} \quad \text{и т. д.}$$

6. Определяем число предприятий, объем потребления которых заключен в каждом интервале потребления

$n_1$  — в интервале  $q'_1 \div q'_1$

$n_2$  — в интервале  $q'_1 \div q'_2$

$n_3$  — в интервале  $q'_2 \div q'_3$  и т. д.,

где  $n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m = \sum_{k=1}^m n_k$  — общее число всех потребителей данной продукции.

После приведения указанных построений и вычислений в нашем распоряжении имеются все исходные данные:

$$\begin{array}{ccccccc} P_1, & P_2, & P_3, & \dots, & P_m \\ q_1, & q_2, & q_3, & \dots, & q_m \\ \left(\frac{I}{T}\right)_1, & \left(\frac{I}{T}\right)_2, & \left(\frac{I}{T}\right)_3, & \dots, & \left(\frac{I}{T}\right)_m \\ n_1, & n_2, & n_3, & \dots, & n_m \end{array}$$

необходимые для формализации процессов поставок и их моделирования.

Переходя к формализации процессов поставок, необходимо обратить особое внимание на характер их математического описания, имея в виду дискретность самих поставок и, следовательно, дискретный вид формализации.

Как в предлагаемых моделях поставок, так и в их математических описаниях принимается дискретный порядок задания аргумента и фиксация дискретного значения зависимой от него функции.

Во всех математических описаниях моделей принимается один и тот же вид ступенчатого изменения аргумента от значения с низшим индексом к значению с высшим индексом и последовательным, без пропусков, обходом всех значений аргумента от  $X_1$  до  $X_m$ , где под  $X$  подразумевается любой аргумент ( $P, q, \frac{I}{T}, n$  и т. п.).

Исследованию подлежат две функции: функция товарных запасов и функция издержек обращения при ступенчатом изменении основного аргумента — объема поставки  $P$  в пределах от  $P_1$  до  $P_m$  последовательно каждый раз на величину  $P_1$ .

### 1. Формализация процесса формирования производственных запасов в зависимости от величины поставки

Как известно, величина производственных запасов у потребителей, расходующих получаемые материалы или изделия равномерно во времени, выражается величиной  $S = \frac{P}{2}$ , где  $S$  — средняя величина запасов, а  $P$  — величина одновременной поставки.

Предположим, что все потребители получают продукцию транзитом, тогда суммарная величина производственных запасов выразится как

$$S_c = S_1 + S_2 + \dots + S_m = \sum_{k=1}^m S_k.$$

Принимая во внимание, что

$$S_1 = \frac{P_1 n_1}{2}, \quad S_2 = \frac{P_2 n_2}{2}, \quad S_m = \frac{P_m n_m}{2},$$

получим

$$S_c = \frac{1}{2} (P_1 n_1 + P_2 n_2 + \dots + P_m n_m),$$

а так как  $P_2 = 2P_1$ ,  $P_3 = 3P_1$  и т. д.,

то

$$S_c = \frac{P_1}{2} (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + mn_m).$$

Если же транзитом будут направляться не все поставки, а лишь поставки, начиная с  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4, \dots, P_i$ , то величину производственных запасов, образуемых за счет транзитных поставок, можно выразить в виде таблицы в зависимости от  $P$  следующим образом:

$$\text{при } P = P_1 \quad S_{1\text{тр}} = \frac{P_1}{2} (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + mn_m),$$

$$\text{при } P = P_2 \quad S_{2\text{тр}} = \frac{P_1}{2} (2n_2 + 3n_3 + \dots + mn_m),$$

$$\text{при } P = P_3 \quad S_{3\text{тр}} = \frac{P_1}{2} (3n_3 + 4n_4 + \dots + mn_m),$$

$$\text{при } P = P_i \quad S_{i\text{тр}} = \frac{P_1}{2} \sum_{k=i}^m kn_k \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

При таком изменении величины поставок все большая часть изделий направляется через склады и базы снабженческо-сбытовых организаций. Если предположить, что с баз и складов продукция отпускается потребителям партиями размером  $P_1$ , то при изменении величины поставки производственные запасы у потребителей, обусловленные складскими поставками, могут быть представлены следующим образом:

$$\text{при } P = P_1 \quad S_{\text{скл}} = \frac{P_1}{2} n_1,$$

$$\text{при } P = P_2 \quad S_{2\text{скл}} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2),$$

$$\text{при } P = P_3 \quad S_{3\text{скл}} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2 + n_3),$$

$$\text{при } P = P_i \quad S_{\text{скл}} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{i-1} + n_i) = \frac{P_1}{2} \sum_{k=1}^i n_k.$$

Суммарные запасы у потребителей, обусловленные транзитными и складскими поставками, будут равны  $S_{\text{тр}} + S_{\text{скл}}$  и при изменении величины поставки  $P$  могут быть представлены в следующем виде:

$$\text{при } P = P_1 \quad S_{1c} = S_{1\text{скл}} + S_{1\text{тр}} = 0 + \frac{P_1}{2} (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + mn_m)$$

$$\text{при } P = P_2 \quad S_{2c} = S_{2\text{скл}} + S_{2\text{тр}} = \frac{P_1}{2} n_1 + \frac{P_1}{2} (2n_2 + 3n_3 + \dots + mn_m)$$

$$\text{при } P = P_3 \quad S_{3c} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2) + \frac{P_1}{2} (3n_3 + 4n_4 + \dots + mn_m)$$

$$\text{при } P = P_i \quad S_{ic} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2 + \dots + n_{i-1}) + \frac{P_1}{2} (in_i + (i+1)n_{i+1} + \dots + mn_m)$$

Если принять во внимание, что  $P_i = P_1 + P_{i-1}$ , то сумму вида  $2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots + mn_m$  можно представить в виде  $n_2 + n_2 + n_3 + 2n_3 + n_4 + 3n_4 + \dots + n_m + (m-1)n_m$  и последнюю сумму можно записать так:

$$\text{при } P = P_i \quad S_{ic} = \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2 + \dots + n_{i-1}) + \frac{P_1}{2} [n_i + (i-1)n_i + n_{i+1} + in_{i+1} + \dots + n_m + (m-1)n_m] \text{ или, произведя суммирование, получим:}$$

$$\begin{aligned} \text{при } P = P_i \quad S_{ic} &= \frac{P_1}{2} (n_1 + n_2 + \dots + n_m + in_{i+1} + (i+1)n_{i+2} + (m-2)n_{m-1} + \\ &+ (m-1)n_m) = \frac{P_1}{2} \left( \sum_{k=1}^m n_k + \sum_{k=i}^m (k-1)n_k \right), \end{aligned} \quad (2)$$

т. е. суммарные запасы содержат постоянную составляющую  $\frac{P_1}{2} \sum_{k=1}^m n_k$  и переменную

величину  $\sum_{k=i}^m (k-1)n_k$ , уменьшающуюся с ростом величины поставки  $P$ .

## 2. Формализация процесса формирования складских запасов в зависимости от величины поставок

При изменении величины одновременной поставки меняются соотношение транзитного и складского снабжения и, как мы установили, величина производственных запасов у потребителей. Кроме того, с ростом величины одновременной поставки увеличивается доля складского и уменьшается доля транзитного снабжения.

С увеличением доли складского снабжения и связанного с ним увеличением складского товарооборота растут складские запасы на снабженческо-бытовых базах и складах.

Если принять в первом приближении, что величина складских запасов прямо пропорциональна складскому обороту, то величину складских запасов можно будет определить, если будет известно, как изменяется складской оборот в зависимости от величины поставки  $P$ .

Поскольку общий объем потребления выражается как произведение среднего объема потребления отдельных потребителей на их число, то величину складского оборота в зависимости от величины поставки можно выразить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{при } P = P_1 & \quad S_{1\text{скл. об}} = q_1 n_1, \\ \text{при } P = P_2 & \quad S_{2\text{скл. об}} = q_1 n_1 + q_2 n_2, \\ \text{при } P = P_3 & \quad S_{3\text{скл. об}} = q_1 n_1 + q_2 n_2 + q_3 n_3, \\ \text{при } P = P_i & \quad S_{i\text{скл. об}} = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_i n_i \\ \text{или в общем виде } S_{i\text{скл. об}} & = \sum_{k=1}^i q_k n_k. \end{aligned}$$

Так как осуществить моделирование суммы произведений весьма сложно, то преобразуем это выражение следующим образом:

$$\text{из (1) имеем } Q = P : \frac{I}{T},$$

очевидно, что

$$q_1 = P_1 : \left( \frac{I}{T} \right)_1, \quad q_2 = P_2 : \left( \frac{I}{T} \right)_2, \quad q_i = P_i : \left( \frac{I}{T} \right)_i.$$

Если принять во внимание, что  $P_2 = 2P_1$ ;  $P_3 = 3P_1$ ;  $P_i = iP_1$ , а также то, что

$$\left( \frac{I}{T} \right)_1 = 1, \quad \left( \frac{I}{T} \right)_2 = 1 - \Delta, \quad \left( \frac{I}{T} \right)_3 = 1 - 2\Delta, \quad \left( \frac{I}{T} \right)_i = 1 - \Delta(i-1),$$

$$\text{то при } P = P_i \quad S_{i\text{скл. об}} = P_1 n_1 + P_1 n_2 \frac{2}{1-\Delta} + P_1 n_3 \frac{3}{1-2\Delta} + \dots$$

$$\dots + P_1 n_i \frac{i}{1-\Delta(i-1)} = P_1 \sum_{k=1}^i \frac{k n_k}{1-\Delta(k-1)}. \quad (3)$$

С учетом  $C_1$ -коэффициента пропорциональности между складским оборотом и складскими запасами — суммарная величина складских запасов (при  $P = P_i$ ) выразится в виде

$$S_{i\text{скл. зап}} = C_1 P_1 \sum_{k=1}^i n_k \frac{k}{1-\Delta(k-1)}. \quad (4)$$

### 3. Формализация процесса изменения величины издержек обращения, связанных со складским хранением изделий и дополнительными автомобильными перевозками

Как известно, издержки обращения образуются в результате обслуживания потребителей сетью снабженческо-сбытовых складов и баз и покрываются потребителями в виде уплаты складских наценок к преysкурантной стоимости изделий.

Таким образом, издержки снабженческо-сбытовой деятельности равны произведению складского оборота на величину складской наценки.

Поскольку математическое описание величины складского оборота нами уже получено [см. формулу (4)], издержки снабженческо-сбытовой деятельности выразятся в виде произведения складской наценки на величину складского оборота по формуле (4).

Аналогично определяется стоимость дополнительных автомобильных перевозок изделий со складов и баз снабженческо-сбытовых организаций к непосредственным потребителям, которая исчисляется исходя из перевезенных тонно-километров груза. Задавая средним расстоянием перевозок, можно определить стоимость дополнительных автомобильных перевозок путем исчисления тоннажа перевезенного груза, равного произведению веса единицы изделия  $G$  на объем складского оборота по формуле (4).



#### 4. Формализация величины себестоимости железнодорожных перевозок грузов в зависимости от величины одновременной поставки

Себестоимость перевозки различных грузов в железнодорожных вагонах после применения соответствующих коэффициентов и определения расстояний перевозок определяется следующей формулой [9]:

$$C = A + \frac{B}{G},$$

где  $A$  и  $B$  — постоянные коэффициенты;  $G$  — вес груза.

Для определения себестоимости перевозок по этой формуле необходимо установить, как изменяется количество железнодорожных перевозок и вес груза в поставках в зависимости от величины поставки  $P$ .

Для определения количества поставок обратимся к выражению (1), откуда следует, что количество поставок

$$Z = \frac{Q}{P} = \frac{T}{I} = \frac{1}{\frac{I}{T}}$$

или при  $P = P_1$   $Z_1 = n_1 : \left(\frac{I}{T}\right)_1 + n_2 : \left(\frac{I}{T}\right)_2 + n_3 : \left(\frac{I}{T}\right)_3 + \dots + n_m : \left(\frac{I}{T}\right)_m$ ;

принимая во внимание, что  $\frac{1}{\left(\frac{I}{T}\right)} = \frac{1}{1 - \Delta(i-1)}$ , полученное выражение можно записать в таком виде:

$$Z = \sum_{k=1}^m \frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}. \quad (5)$$

Так как по мере увеличения объема одновременной поставки  $P$  происходит укрупнение мелких поставок объемом меньше  $P$  до величины поставки  $P$ , то общее количество поставок по (5) будет все время уменьшаться на величину, которая определяется следующим образом:

при  $P = P_2$  мелкие поставки  $\frac{n_1}{\left(\frac{I}{T}\right)_1}$  будут укрупнены до значения  $\frac{q_1 n_1}{P_2}$ , что означает

уменьшение поставок на  $\frac{n_1}{\left(\frac{I}{T}\right)_1}$  и увеличение их количества на  $\frac{q_1 n_1}{P_2}$ ; аналогично при

других значениях  $P$  число поставок будет дискретно изменяться на величину:

при  $P = P_3$  на  $\frac{q_1 n_1 + q_2 n_2}{P_3} - \frac{n_1}{\left(\frac{I}{T}\right)_1} - \frac{n_2}{\left(\frac{I}{T}\right)_2}$ ;

при  $P = P_4$  на  $\frac{q_1 n_1 + q_2 n_2 + q_3 n_3}{P_4} - \frac{n_1}{\left(\frac{I}{T}\right)_1} - \frac{n_2}{\left(\frac{I}{T}\right)_2} - \frac{n_3}{\left(\frac{I}{T}\right)_3}$ ;

при  $P = P_i$  на

$$\sum_{k=1}^m \frac{\sum_{k=1}^i q_k n_k}{P_{k+1}} - \sum_{k=1}^i \frac{n_k}{\left(\frac{I}{T}\right)_k} = \frac{1}{P_1} \sum_{k=1}^m \frac{\sum_{k=1}^i q_k n_k}{k+1} - \sum_{k=1}^i \frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}.$$

Принимая во внимание (3) и (5) и умножая число поставок на коэффициент  $A$ , получим составляющую себестоимость поставок, не зависящую от веса груза

$$C_{н.в} = A \left[ \sum_{k=1}^i \frac{kn_k}{k[1-\Delta(k-1)]} - \sum_{k=1}^i \frac{n_k}{1-\Delta(k-1)} \right]. \quad (6)$$

Для получения другой составляющей себестоимости, зависящей от веса груза, необходимо учесть, что вес груза поставки прямо пропорционален объему поставки ( $G = FP$ , где  $F$  — коэффициент пропорциональности, равный весу изделий минимальной поставки) и, следовательно, можно написать, что  $\frac{B}{G} = \frac{B_1}{P}$ , где  $B_1 = \frac{B}{F}$ . Отсюда с учетом (1), (4) и (6) следует, что зависящая от веса груза составляющая себестоимость железнодорожных перевозок выразится в виде

$$G_{\text{груз}} = B_1 \frac{1}{P_1} \left[ \sum_{k=1}^i \frac{kn_k}{k[1-\Delta(k-1)]} - \sum_{k=1}^i \frac{n_k}{k[1-\Delta(k-1)]} \right]. \quad (7)$$

Заканчивая формализацию процессов поставок, следует заметить, что математическое описание процесса формирования производственных и складских запасов по (2) и (4) можно рассматривать как изменение издержек обращения, если общие объемы запасов в натуральном выражении по (2) и (4) умножить на коэффициент эффективности использования производственных фондов ( $K_{эф}$ ) и преysкурантную стоимость единицы изделий.

При моделировании (6) и (7) следует кроме того иметь в виду, что они не содержат постоянной составляющей (5), которую необходимо также учитывать с соответствующими множителями  $A$  и  $B_1$ .

Проведенная формализация процессов поставок позволяет непосредственно перейти к электрическому моделированию вышеприведенных математических описаний процессов по (2), (4), (6) и (7).

В основу моделирования положен общеизвестный [6] принцип изображения математической суммы в виде суммы токов, протекающих по определенным образом соединенным резисторам существенно дополненный и видоизмененный автором данной статьи.

Необходимость в дополнении и изменении элементарной схемы суммирования вызвана тем, что классическая схема предусматривает суммирование ряда обычных величин, в то время как в случае выражений (2), (4), (6) и (7) суммированию подлежат весьма сложные функции, содержащие все четыре арифметических действия.

Поэтому был разработан и предлагается видоизмененный способ суммирования величин, при котором процесс вычисления разбивается на два отдельных этапа: а) задание (программирование) при помощи переменных резисторов (потенциометров) полного значения каждого члена ряда; б) суммирование в определенной последовательности всех членов выражений, стоящих под знаком суммирования.

Так как каждое вычисление выражения, стоящего под знаком суммы, представляет собой отдельную операцию, то каждая из составных сумм выражения (6) и (7) должна моделироваться отдельно и, следовательно, для полного описания всех перечисленных процессов поставок по (2), (4), (6) и (7) необходимо построить шесть моделей.

Рассмотрим реализацию предлагаемого метода на конкретном примере моделирования процессов поставок.

#### 1. Моделирование переменного члена выражения производственных запасов

$$\sum_i^m (i-1)n_i$$

сводится к вычислению от  $i = 2$  до  $m$  последовательной суммы членов ряда  $n_2 + 2n_3 + 3n_4 + \dots + (m-1)n_m$  при помощи суммирования токов, проходящих по переменным резисторам  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$  (рис. 3) под действием приложенного напряжения  $U_0$ .

По закону Ома  $J = \frac{U_0}{R}$ ; при  $U_0 = \text{const}$   $J = U_0 \frac{1}{R}$ , т. е. ток, протекающий по каждому переменному резистору, обратно пропорционален установленному на нем сопротивлению, а суммарный ток равен току, протекающему по резистору  $R_{\text{общ}}$ , величина которого во много раз меньше сопротивления каждого переменного резистора  $R_{\text{общ}} \ll R$ .

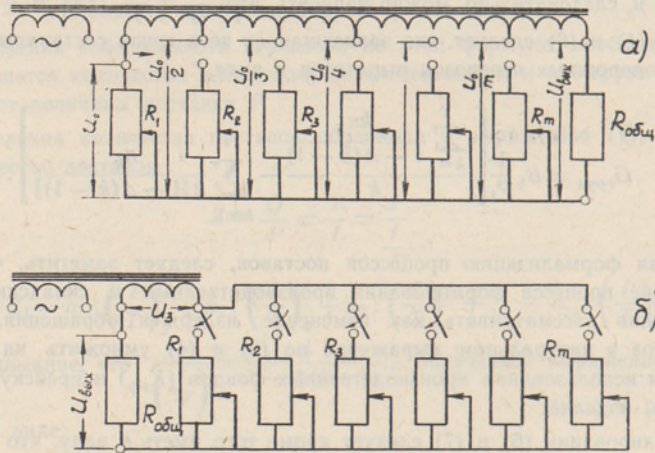


Рис. 3.

Величина суммарного тока определяется по падению напряжения на резисторе  $R_{\text{общ}}$ , причем  $U_{\text{вых}} = J_{\text{сумм}} R_{\text{общ}}$ . Следовательно, задача заключается в том, чтобы установить на переменных резисторах следующие величины сопротивлений: на первом  $\frac{1}{R_1} = n_2$ ,  $R_1 = \frac{1}{n_2}$ , на втором  $\frac{1}{R_2} = 2n_3$ ,  $R_2 = \frac{1}{2n_3}$ ,  $R_3 = \frac{1}{3n_4}$  и т. д.

Указанная установка выполняется путем задания величин сопротивлений переменных резисторов, подключенных к источнику с различной величиной напряжений, и замера величины тока, протекающего по резистору  $R_{\text{общ}}$ . Вначале на резистор  $R_1$  подается напряжение  $U_0$  и на резисторе  $R_{\text{общ}}$  устанавливается (путем изменения сопротивления резистора)  $U_{\text{вых}} = R_{\text{общ}} J_1$  так, чтобы  $J_1$  был равен  $n_2$ ; в этом случае  $n_2 = J_1 = \frac{U_0}{R_1}$  или  $n_2 = U_0 \frac{1}{R_1}$ , что и было необходимо (рис. 3а).

Затем на резистор  $R_2$  подают  $\frac{U_0}{2}$  и добиваются протекания тока  $J_2 = n_3$ ; при этом  $n_3 = \frac{U_0}{2R_2}$  и, следовательно,  $n_3 = U_0 \frac{1}{2R_2}$ . Аналогично устанавливают  $R_3, R_4, \dots, R_m$ . Суммирование величин  $n_2 + 2n_3 + 3n_4 + \dots + (m-1)n_m$  производится путем передвижения вправо контакта переключателя (рис. 3б) при каждом изменении выражения (2) на  $P_1$ .

В этом случае  $J_{\text{сумм}} = J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_m$ ; так как  $J_1 = n_2$ ,  $J_2 = 2n_3$  и т. д., то суммирование в точности соответствует выражению (2).

$$J_{2\text{сумм}} = J_2 + J_3 + \dots + J_m, \quad J_{3\text{сумм}} = J_3 + J_4 + \dots + J_m,$$

то есть при каждом перемещении контакта переключателя вправо на один элемент предыдущий резистор отключается и число суммирующих членов уменьшается на один.

Таким образом, электрическая схема, изображенная на рис. 3, является электрической моделью процесса формирования производственных запасов при изменении величин одновременной поставки.

II. Модель процесса формирования складских запасов, выраженная формулой (4), отличается от предыдущей модели тремя элементами: а) наличием отношения под знаком суммы, б) наличием постоянных коэффициентов перед знаком суммы, в) порядком суммирования (при каждом шаге к сумме добавляется один член).

Однако сама модель схематически почти не отличается от первой (рис. 3а), меняются только схема и порядок программирования сопротивлений переменных резисторов.

Кроме того, следует принять во внимание, что в выражениях (4), (6), (7) под знаком суммы имеется общий знаменатель  $1 - \Delta(k-1)$  и общий множитель  $n_k$ . Поэтому целесообразно при программировании математических операций по выражению (4) выбрать такой порядок задания функций, который был бы общим также и для выражений (6) и (7), что облегчит конструирование последующих моделей.

Очевидно, что общим множителем для всех этих выражений является отношение

$\frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}$  и, следовательно, целесообразно запрограммировать сопротивление переменных резисторов именно в виде этого отношения.

Чтобы ток, протекающий по сопротивлению, был пропорционален отношению вида

$\frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}$ , необходимо, чтобы величина сопротивления имела обратное значение, то есть

$$J = \frac{U_0}{R} = \frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}, \quad R = \frac{1 - \Delta(k-1)}{n_k}.$$

Так как способ задания сопротивлений величиной  $\frac{1}{n_k}$  был подробно рассмотрен в предыдущем примере, остается лишь видоизменить схему (рис. 3) таким образом, чтобы запрограммировать также и значение числителя  $1 - \Delta(k-1)$ . Это может быть осуществлено с применением двух трансформаторов — одного нерегулируемого, вторичное напряжение которого равно  $U_0$ , и другого с регулируемым первичным напряжением и вторичным напряжением, которое снимается с различных отводов вторичной обмотки, имеющих одинаковое количество витков.

Особенностью схемы является встречное соединение вторичных обмоток обоих трансформаторов.

Как видно из рис. 4а, при таком соединении обмоток трансформаторов на первый переменный резистор подается напряжение  $U_0$ , на второй  $U_0 - \Delta U_1$ , на третий  $U_0 - 2\Delta U_1$ , на четвертый  $U_0 - 3\Delta U_1$  и т. д., причем величину  $\Delta U_1$  можно менять в широких пределах, изменяя напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора (ТР-2).

Задание на каждом резисторе сопротивления  $R = \frac{1 - \Delta(k-1)}{n_k}$  производится путем установки такой величины сопротивления, при которой по цепи будет протекать ток  $J_k = n_k$ . В этом случае заданное значение сопротивления будет равно

$$\frac{U_0 - k\Delta U_0}{J_k} = \frac{U_0(1 - \Delta k)}{J_k} = \frac{U_0(1 - \Delta k)}{n_k}$$

и, следовательно,  $R = \frac{1 - k\Delta}{n_k}$ , что и было необходимо.

После задания значений сопротивлений резисторов в соответствии с отношением вида  $\frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}$  не представляет значительной трудности получить модель, соответствующую выражению (4).

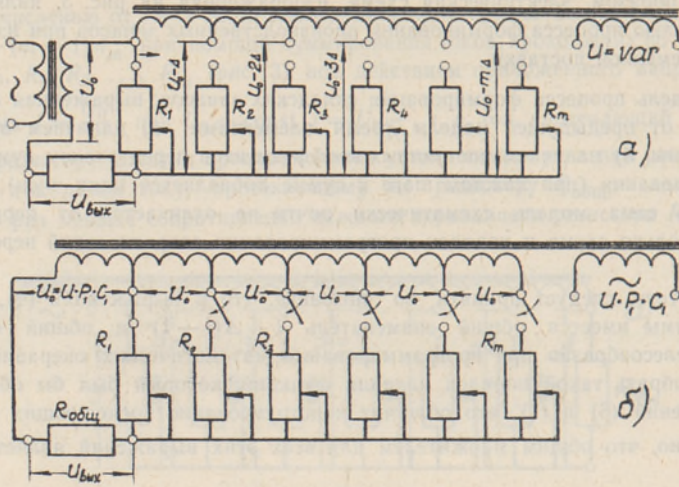


Рис. 4.

Для того, чтобы получить сумму токов, равную произведению  $k \frac{n_k}{1 - \Delta(k-1)}$  необходимо на потенциометры с заданной программой подавать напряжение  $U_0 = k$ , то есть на первый переменный резистор  $U_0$ , на второй  $2U_0$ , на третий  $3U_0$  и т. д., что весьма просто может быть осуществлено путем подключения резисторов к отводам трансформатора, имеющего равные количества витков между отводами (рис. 4б).

Очевидно, что для получения выражения (4) необходимо полученный результат умножить на коэффициент  $C_1 P_1$ , стоящий перед знаком суммы. Это может быть осуществлено путем подачи на первичную обмотку трансформатора (рис. 4б) величины напряжения, пропорциональной величине  $C_1 P_1$ , выбранной в соответствующем масштабе.

Таким образом, схема, изображенная на рис. 4, является электрической моделью величины складских запасов, изменяющихся при изменении величины одновременной поставки  $P$ .

Аналогичной будет также модель издержек обращения, обусловленных складским хранением и дополнительными автомобильными перевозками, отличающаяся от данной модели лишь коэффициентами перед знаком суммирования.

III. Моделирование процесса изменения величины себестоимости железнодорожных перевозок по выражениям (6) и (7) почти не отличается от предыдущей модели, так как величины сопротивлений переменных резисторов задаются для выражений (6) и (7) такими же, как и для выражения (4).

Отличие вычислений сумм выражений (6) и (7) заключается в том, что, во-первых, второй член — сумма выражения (7) имеет под знаком суммы делитель  $k$  и, во-вторых, первые члены — суммы выражений (6) и (7) имеют общий делитель  $(k+1)$ .

Вычисление выражения под знаком суммы с делением на  $k$  осуществляется по схеме, изображенной на рис. 5а, и отличается от вычисления выражения (4) лишь величинами напряжений, подаваемых с ответвлений обмоток трансформатора.

При вычислении (4) на переменные резисторы 1, 2, 3 и т. д. подавалось соответственно напряжение  $U_0$ ,  $2U_0$ ,  $3U_0$  и т. д., а при вычислении второго члена — суммы выражения (7) на резисторы соответственно нужно подавать напряжение  $U_0$ ,

$$\frac{U_0}{2}, \frac{U_0}{3}, \dots, \frac{U_0}{m}.$$

Вычисление первых членов сумм (6) и (7) отличается от вычисления значений выражения (4) наличием общего делителя  $(k+1)$ . Указанное деление возможно осуществить по схеме рис. 5б в цепи общего резистора  $R_{общ}$ , если его выполнить с отводами таким образом, чтобы сопротивление между точками  $0 \div 1$  было равно

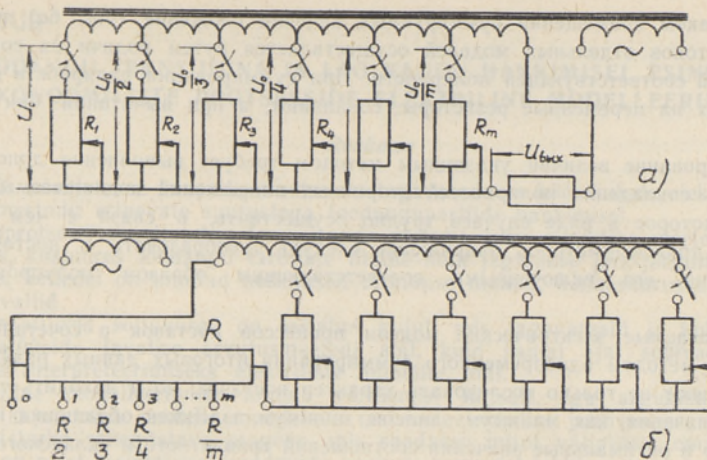


Рис. 5.

$\frac{1}{2} R_{\text{общ}}$ , а между точками  $1 \div 2, 2 \div 3, 3 \div 4, \dots, (m-1) \div m$  соответственно  $\frac{1}{3} R_{\text{общ}}, \frac{1}{4} R_{\text{общ}}, \frac{1}{5} R_{\text{общ}}, \dots, \frac{1}{m} R_{\text{общ}}$ .

В этом случае напряжение, снимаемое с ответвлений  $R_{\text{общ}}$ , равно соответствующей части  $U_{\text{вых}}$  и, следовательно, будет соответствовать операции деления всей суммы числителя на сумму вида

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{m}; \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{m}; \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \dots + \frac{1}{m} \text{ и т. д.}$$

Таким образом, электрические схемы, изображенные на рис. 4 и 5, являются составляющими элементами моделей себестоимости перевозок при изменении объема одновременной поставки.

В заключение следует отметить, что члены — суммы по выражениям (2), (4), (6) и (7) могут быть вычислены как отдельно, так и суммированно.

Суммирование (вычисление) величин различных составляющих перечисленных моделей может быть осуществлено путем суммирования токов, протекающих по переменным резисторам различных моделей, в цепи резистора  $R_{\text{общ}}$ , который в этом случае выбирается общим для нескольких моделей (рис. 6).

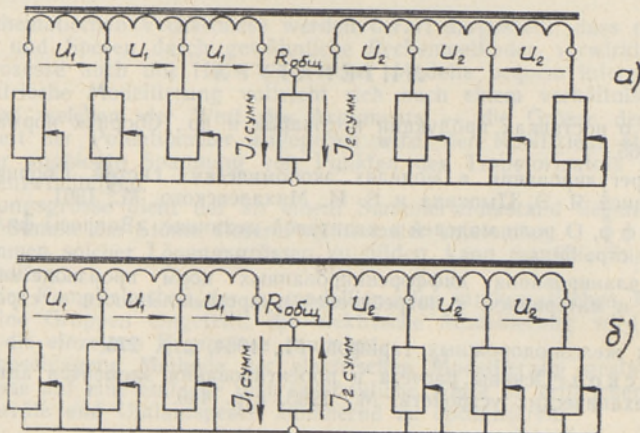


Рис. 6.

При таком совмещении суммируемых величин сложение (рис. 6а) и вычитание (рис. 6б) токов отдельных моделей осуществляется путем подачи на сопротивления напряжений соответствующей полярности. При суммировании полярности напряжений, подаваемых на переменные резисторы, совпадают, а при вычитании они противоположны.

Суммирование величин указанным методом требует выполнения дополнительного условия — совпадения полярностей вторичных напряжений подключаемых трансформаторов, которое в ряде случаев трудно осуществить, в связи с чем подаваемое с отводов трансформаторов напряжение следует преобразовать в постоянное путем выпрямления его включенными соответствующим образом полупроводниковыми диодами.

Предлагаемые электрические модели процессов поставок в сочетании с вышеуказанным методом одновременного суммирования итоговых данных различных моделей позволяют не только исследовать характер поставок, но и находить такие экстремальные значения, как минимум запасов, минимум издержек обращения и др., а следовательно и оптимальные значения соотношений транзитного и складского снабжения.

Предложенные выше методы моделирования поставок положены автором в основу создания специального аналогового электрического оптимизатора поставок, который позволит определить величину транзитных нормативов не на электронных вычислительных машинах, а сравнительно простым способом.

### Заключение

1. Такие составляющие экономических процессов поставок, как формирование запасов, изменение издержек обращения и себестоимости железнодорожных перевозок в зависимости от величины объема одновременной поставки, могут быть формализованы и выражены в виде определенных математических зависимостей.

2. Математические описания процессов поставок могут быть представлены аналоговыми электрическими схемами-моделями, содержащими переменные сопротивления — переменные резисторы, различные трансформаторы и переключатели, которые позволяют, во-первых, в значительной степени сократить и упростить вычисления, и, во-вторых, представить в простой и наглядной форме сами процессы поставок.

3. Электрические аналоги допускают суммирование итоговых, сопоставимых величин различных моделей процессов поставок, позволяющее проводить одновременный анализ нескольких составляющих поставок, что может способствовать наиболее полному их исследованию и определению оптимальных величин соотношений транзитного и складского снабжения при помощи специально созданного для этой цели оптимизатора поставок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о поставках продукции и товаров и др., Сборник нормативных актов. М., 1965.
2. Процессы регулирования в моделях экономических систем, Сборник статей под редакцией Я. Э. Цыпкина и Б. И. Михалевского. М., 1961.
3. В. А. Штофф, О роли моделей в квантовой механике. «Вопросы философии», 1958, № 12, стр. 69.
4. Методика планирования дифференцированных норм производственных запасов сырья и материалов у потребителей в промышленности и строительстве. М., 1965.
5. Справочник железнодорожных тарифов. М., 1964, стр. 275.
6. Б. С. Сотсков, Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств. М., 1963, стр. 446.

G. FELICIUS

## TOODANGU TRANSIIDINA JA LAO KAUDU HANKIMISEL ESINEVATE ÖKONOOMILISTE PROTSESSIDE ELEKTRILINE MODELLEERIMINE

### Resümee

Artiklis käsitletakse kaupade muutuvate tagavarade ja käibekulude elektrilise modelleerimise meetodit erinevate suurustega toodangupartiide hankimisel.

Hankeprotsessi soovitakse formuleerida matemaatilise statistika meetodeil diskreet-ses vormis, kusjuures toodangu tarbijate üldine hulk jagatakse järk-järgult kasvavateks gruppideks, kellel on kindlad keskmised tarbimise mahud, hankesuured ja omavahe-lised intervallid.

Matemaatilised sõltuvused on esitatud kujul, mis tagavarasid ja kulusid võimal-davad analüüsida tavalise arvutusmeetodi abil, kuid samal ajal sobivad ka hanke-protsesse interpreteerimiseks elektriliste mudelite abil.

Elektriline modelleerimine toimub võrdlemisi lihtsalt: iga argument — hanke-suurus — kujutatakse mudelis muudetava resistori elektrilise juhtivusena; koefitsient — sellele resistorile rakendatava pingena, mis saadakse mitut väljavõtet omavast trafost; vastuseks on neist resistoritest saadavate voolude summast tekkiv pingelang summeerival elemendil, milleks on väikest takistust eviv resistor. Niisuguste vastuste summa saa-dakse summeerivate elementide järjestikusel ühendamisel.

Modelleerimisele kuuluvad matemaatilised seosed on nende keerukust arvestades jaotatud gruppidesse; elektriline modelleerimine viiakse läbi ositi ning saadud tulemused summeeritakse.

Kõnesolev meetod võimaldab lihtsalt ja ülevaatlikul kujul uurida hankeprotsesse ning esimeses lähenduses optimeerida kaupade tagavarade ja käibekulude suurust.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut

Saabus toimetusse  
1. II 1966

G. FELICIUS

## ELEKTRISCHE MODELLIERUNG DER ÖKONOMISCHEN PROZESSE VON PRODUKTIONS-LIEFERUNGEN MITTELS DES TRANSITS UND DURCH LAGERUNG

### Zusammenfassung

Im Artikel wird die Methode der elektrischen Modellierung der Veränderungsprozesse der Warenvorräte und der Umlaufspesen bei Produktionslieferungen in Partien verschiedenen Umfangs dargelegt.

Man erörtert das Verfahren der Formalisierung von Lieferungsprozessen in diskreter Form durch Methoden der mathematischen Statistik, indem die Gesamtheit der Konsumenten nach dem durchschnittlichen Umfang ihres Konsums, der Grössen der Lieferungen und der Intervalle zwischen denselben in rangierte Gruppen eingeteilt wird.

Die mathematischen Verhältnisse werden derart dargestellt, dass man eine Analyse der Vorräte und Spesen durch gewöhnliche Rechenmethoden verwirklichen, jedoch die Lieferungsprozesse auch mit Hilfe elektrischer Modelle bequem interpretieren kann.

Die elektrische Modellierung vollzieht sich nach einem verhältnismässig einfachen Verfahren, bei welchem der Wert des Arguments — die Grösse der Lieferungen — durch Leitwert der Potentiometer angegeben wird, der Koeffizient aber durch an die Potentiometer angelegte Spannung von Punkten des Transformators mit Anzapfungen der Koeffizientwindungen.

Als Lösungsgrösse dient der an einem Summierwiderstand liegende Spannungsabfall, aus der Summe der Stöme dieser Potentiometer entstanden.

Um Summen solcher Lösungsgrössen zu bilden, kann man die Summierwiderstände in Reihe schalten.

Wegen der Kompliziertheit der zu modellierenden mathematischen Ausdrücke werden sie in einzelne Gruppen eingeteilt; die elektrische Modellierung wird getrennt durchgeführt und die einzelnen Ergebnisse summiert.

Die vorgeschlagene Methode der elektrischen Modellierung gestattet es, die Lieferungsprozesse auf eine einfache und anschauliche Weise zu erforschen und die Grösse der Warenvorräte und Umlaufspesen annähernd zu optimieren.

Institut für Ökonomie  
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen  
am 1. Febr. 1966