

ЭКОНОМИКА

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ УЧАСТНИКОВ И ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАУКОЕМКОЙ ЖЦНП ПРОДУКЦИИ В СИСТЕМУ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

канд.эконом.наук А.Е. БРОМ, асп. А.А. АЛЕКСАНДРОВ

Основой повышения эффективности управления жизненным циклом наукоемкой продукции и обеспечения ее эксплуатационной надежности становится в XXI веке логистическая концепция, интегрирующая с помощью CALS-технологий в единое информационное пространство участников жизненного цикла изделия на этапах разработки, продажи, внедрения, эксплуатации и утилизации продукции.

Интеграция строится в соответствии с концепцией SCM (управления цепями поставок) и включает принципы стратегического взаимодействия с поставщиками, смежниками, клиентами и другими участниками процессов производства и обслуживания продукции. Такое расширение понятия логистической системы и переход к глобальной логистике цепей поставок породил проблему обеспечения оптимальной временной синхронизации и пространственной организации потоковых процессов всех предприятий-участников ЖЦ на основе единого информационного пространства.

Решение задачи синхронизации процессов ЖЦ НП лежит в плоскости логистических концепций «точно в срок» и «логистикой быстрого реагирования», которые заключаются в нахождении средств сокращения или ликвидации разрыва между реальным спросом и фактическим запасом и нацелены на точное удовлетворение потребностей в кратчайшие сроки при минимальных запасах. В современных условиях ведения бизнеса способность реагировать на запросы потребителя в течение все более коротких промежутков времени приобретает важнейшее значение. В условиях непрерывно меняющегося рынка скорость реакции на изменения спроса приобретает более важное значение, чем долгосрочная стратегия. В свою очередь, скорость реакции - это показатель динамики системы, на-

прямою зависящий от ее инерционных свойств. Это определяет подход к исследованию и анализу системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции (СЛП ЖЦ НП) как сложной динамической системы.

В динамических системах переход из одного состояния в другое происходит в течение некоторого промежутка времени, определяемого свойствами системы (главным из которых является инерционность). Режим движения динамической системы из одного установившегося режима (периодического или равновесного) к другому называется переходным процессом (режимом).

Рассмотрим, как в интегрированной логистической системе, объединяющей ключевые этапы ЖЦ – производство и сбыт, происходит процесс перехода из одного установившегося режима функционирования в другой.

Для осуществления поставок продукции потребителям в стабильном режиме на складах подсистемы сбыта СЛП ЖЦ аккумулируются запасы, по мере необходимости пополняемые со склада подсистемы производства. Изменение спроса представляет собой возмущающее воздействие на входе в систему, выражается в поступлении заказов покупателей и влечет за собой изменение величины запасов на складах. Для восстановления складских запасов и в расчете на поступление новых заказов на готовую продукцию в подсистеме сбыта принимается решение о пополнении запасов, на основе чего оформляется заявка на поставку продукции на заводской склад. После принятия решения возникает определенное временное запаздывание - для оформления и передачи заказа на склад производства.

На складе подсистемы производства при получении заявки от подсистемы сбыта принимаются два решения: об отгрузке продукции и о пополнении собственных запасов. На основе принятых решений оформляется заказ на поставку продукции непосредственно с производства, определяемый величиной запаса и заказом подсистемы сбыта. На заводе не происходит мгновенного выпуска продукции по требованию; здесь также существуют определенные временные запаздывания: для оформления заказов и принятия решения о запуске их в производство и для выполнения заказов, что обусловлено технологическим процессом.

Готовая продукция, отгруженная заводским складом, также не появляется мгновенно, а транспортируется в подсистему сбыта в течение определенного промежутка времени.

Когда происходит изменение спроса на продукцию, то для того, чтобы величина предложения стала соответствовать величине спроса, необходимо определенное время, в течение которого изменяются темпы производства и сбыта – они не могут измениться мгновенно. Это временное запаздывание (демпфирование) характеризует инерционные свойства системы и определяет скорость протекания переходного процесса в каждом звене СЛП ЖЦ НП.

Аналогичным образом инерционные свойства оказывают свое влияние и в обратном направлении: изменение цены на готовую продукцию приводит к изменению покупательского спроса, проявляющемуся спустя какое-то время.

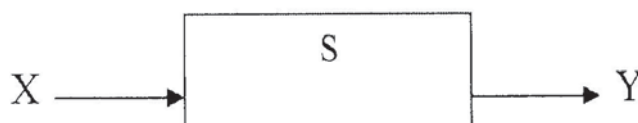
Чем меньше длительности переходных процессов, тем выше скорость реакции, тем быстрее СЛП ЖЦ адаптируется к изменениям рыночной ситуации, тем больше ее эффективность.

Скорость протекания переходного процесса зависит от вида и продолжительности временных запаздываний, образующихся в контурах потоковых процессов предприятий-участников ЖЦ НП, и характеризует инерционность ЛСП ЖЦ НП в целом. Отметим, что запаздывания не всегда отрицательным образом сказываются на деятельности системы. Результат запаздывания зависит от его положения в системе: например, при регулировании запасов иногда необходимо увеличить время запаздывания, чтобы уменьшить колебания системы при изменении структуры потребительского спроса.

Для анализа синхронности протекания потоковых процессов, представляющих собой одно из проявлений изменяющихся во времени взаимодействий, модель ЛСП ЖЦ НП должна отражать замкнутый контур производственно-технологического цикла. Потоковое представление процессов хозяйственно-коммерческой деятельности в логистике позволяет применить кибернетический подход к решению проблемы интеграции разнопрофильных участников и процессов ЖЦ в логистическую систему поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции (ЛСП ЖЦ НП). Как известно, в кибернетике любую систему принято задавать соотношением

$$S \subset X \times Y,$$

где X – вход системы, Y – выход системы S , \subset – множество состояний системы в фазовом пространстве.



Определяя логистическую систему как кибернетическую (динамическую), необходимо задать набор величин (показателей), характеризующих систему, и оператор эволюции – правило, описывающее, как изменяются эти величины с течением времени. Система показателей структурирована с одной стороны, по этапам и процессам ЖЦ, с другой – по кибернетическим показателям входа, выхода и внутреннего состояния и приведена в таблице


Таблица 1 (продолжение)

	<p>s_i^4 - коэффициент желательного запаса продукции в подсистеме сбыта;</p> <p>Показатели выхода x_i^{30} - поток оформленных и готовых к выдаче ПС заказы на поставку продукции с производства; x_i^{31} - выданные ПС заказы, находящиеся в каналах информационной связи; x_i^{35} - темп поставки продукции потребителям.</p> <p>Показатели входа v_i^1 - спрос на продукцию (возмущение) x_i^{33} - уровень продукции в каналах транспортировки из ПП в ПС; x_i^{34} - темп поставки продукции для пополнения запасов из ПП в ПС; z_i^9 - минимальное время выполнения заказов покупателей; z_i^{10} - запаздывание выполнения заказов, связанное с отсутствием на складе ПС продукции; z_i^{11} - время оформления заказов покупателей в ПС; z_i^{12} - запаздывание в каналах связи ПС; z_i^{13} - время отклонения фактического спроса от прогнозируемого (время усреднения заказов к ПС). На величину z_i^{13} необходимо каждый день корректировать спрос. r_i^5 - время регулирования запасов продукции в ПС и в каналах материального потока.</p>	<p>параметр.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>переменный,</p> <p>переменный</p> <p>переменный</p> <p>врем.параметр</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>параметр</p> <p>регулирования.</p>
<p>Снабжение</p>	<p>Показатели внутреннего состояния x_j^{21} - действительное количество материалов в каналах снабжения ПП;</p> <p>Показатели входа x_j^{24} - темп закупки материалов;</p>	<p>переменный</p> <p>.</p> <p>переменный</p>

Таблица 1 (продолжение)

	<p>Показатели выхода x_j^{22} - темп поступления материалов в ПП;</p>	<p>переменный</p>
<p>Подсистема управления персоналом</p>	<p>Показатели внутреннего состояния x^{36} - число рабочих, проходящих стажировку; x^{37} - число рабочих, приступающих к работе в ПП; x^{38} - активные производственные рабочие; x^{39} - увольняющиеся рабочие; x^{40} - рабочие, закончившие работу в ПП; x^{41} - численность рабочих для регулирования невыполненных заказов в ПП; x^{42} - желательная численность рабочих в ПП; x^{43} - несоответствие желательной и фактической численности рабочих в ПП; x^{46} - общие изменения численности рабочих. z^{14} - время стажировки рабочих в ПП; z^{15} - запаздывание в увольнении рабочих; z^{16} - время изменения численности рабочих;</p>	<p>переменный</p>
<p>Процесс</p>	<p>Показатели входа x^{44} - темп найма рабочих;</p> <p>Показатели выхода x^{45} - темп увольнения рабочих; v^5 - текучесть персонала (<i>возмущение</i>);</p> <p>Показатели внутреннего состояния x_j^{47} - уровень счетов к оплате за материалы;</p>	<p>врем.параметр врем.параметр врем.параметр переменный переменный переменный переменный</p>

Таблица 1 (окончание)

<p>управления финансовыми потоками</p> 	<p>x_i^{48} - темп выставления счетов потребителям за готовую продукцию; x_i^{49} - уровень счетов за готовую продукцию к получению производителем НП; x^{53} - кассовая наличность предприятия; x^{55} - чистая прибыль; f_1 - ставка налога на прибыль; f_2 - средняя недельная заработная плата рабочих; z^{17} - запаздывание оплаты счетов предприятием за полученные материалы; r^6 - время регулирования уровня дивидендов.</p> <p>Показатели входа v_i^4 - запаздывание оплаты покупателем счетов за готовую продукцию (<i>возмущение</i>); x_i^{50} - темп поступления денежных средств на счета предприятия за готовую продукцию; x^{54} - темп получения прибыли до выплаты налогов; f_4 - темп кассовых поступлений (темп поступления денежных средств в кассу при стабильном, установившемся режиме работы);</p> <p>Показатели выхода v_i^6 - стоимость единицы готовой продукции (<i>возмущение</i>); x^{51} - поток денежных средств на выплату заработной платы; x^{52} - общая сумма дивидендов, выплаченных акционерам; x^{56} - темп выплаты дивидендов акционерам; f_3 - темп постоянных кассовых расходов;</p>	<p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>Параметр</p> <p>Параметр</p> <p>врем.параметр</p> <p>параметр</p> <p>регулирувания</p> <p>Переменный</p> <p>переменный.</p> <p>переменный</p> <p>Параметр</p> <p>Переменный</p> <p>переменный</p> <p>Переменный</p> <p>Параметр</p>
--	--	---

Замкнутая модель СЛП ЖЦ НП представляет собой независимую систему, не имеющую связи с внешними (экзогенными) переменными. Экзогенный ввод данных используется, чтобы проследить внутренние реакции системы, исследовать ее динамические характеристики и проверить адекватность модели реальным процессам ЖЦ НП. С целью воспроизведения динамики внешней среды и ответных действий системы в изменившихся внешних условиях выделен в качестве экзогенной переменной потребительский спрос на продукцию.

Оператор эволюции представляет собой систему конечно-разностных уравнений уровней и темпов, решаемых периодически в моменты времени t , разделенные между собой периодом T .

Каждый элемент организационной структуры СЛП ЖЦ можно представить в виде накопителя (резервуара), характеристикой состояния которого является уровень (объем) находящегося в нем содержимого – это могут быть материалы, денежные средства, трудовые ресурсы, заказы потребителей, готовая продукция и т.д.

Уровни СЛП связаны между собой потоками; в общем случае каждый уровень может иметь несколько каналов входящих и исходящих потоков.

Для СЛП ЖЦ НП целесообразно выделить такие типы непрерывных потоков, как потоки материалов, продукции, заказов потребителей, денежных средств, трудовых ресурсов, средств производства и т.д. Темпы потоков определяют существующие мгновенные потоки между уровнями в системе и характеризуют скорость передачи содержимого потоков от одного уровня к другому. В свою очередь темпы определяют уровни, являющиеся определенными по времени интегралами потоков.

Уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы и представляют собой переменные, которые можно было бы определить в том случае, когда система приведена в состояние покоя. Например, при прекращении всех процессов перемещения, характеризующих складскую деятельность, на складе сохраняется определенный уровень продукции. Уровни СЛП характеризуют состояние материальных запасов, численность работающих, невыполненные заказы, финансовую наличность, заказы, находящиеся в каналах информационных потоков, продукцию в процессе транспортировки, потребность в рабочей силе.

Такой подход к интерпретации уровней логистической системы позволяет рассматривать их не только как характеристику динамики материального потока, но также и применительно к информационному потоку. Например, средний темп продаж за определенный временной промежуток представляет собой уровень информационного потока, измеряемый в единицах темпа.

Пусть L_j^t – значение уровня содержимого j -го накопителя системы в момент времени t . Тогда

значение уровня L_{t+1}^j в следующий момент времени $t+1$, полученного благодаря различию в темпах входящего IN_t^j и исходящего OUT_t^j потоков, можно получить с помощью разностного уравнения:

$$L_{t+1}^j = L_t^j + T(IN_t^j - OUT_t^j), \quad (1.1)$$

где T – период времени, в течение которого происходит накопление.

Интервал решений T должен быть достаточно коротким, чтобы его величина серьезно не влияла на результаты вычислений и изменения в уровнях между моментами решений не привели к появлению дискретности темпов. Это обуславливается тем, что каналы обратной связи должны оставаться в течение периода T закрытыми. Величина T обязательно должна быть меньше продолжительности любого запаздывания первого порядка; желательное условие – меньше его половины. Так как запаздывания третьего порядка эквивалентны трем последовательным запаздываниям первого порядка, каждое из которых составляет $\frac{1}{3}D_3$, то желательно, чтобы выполнялось условие $T \leq \frac{1}{6}D_3$. Интервал решений T представляет собой параметр системы, и в процессе вычислений его величину можно изменять.

Запаздывание представляет собой упрощенное понимание уровня и характеризует процесс преобразования, в результате которого на основе заданного темпа входящего потока устанавливается темп потока на выходе.

Запаздывания изображаются в модели набором разностных уравнений темпов и уровней, характеризующих рассматриваемый поток.

В модели ЛСП ЖЦ НП запаздывания определяются с помощью конечно-разностных уравнений, аналогичных уравнениям уровня.

Уровень L_{t+1} , находящийся в запаздывании, накапливается благодаря различию в темпах входящего IN_t и исходящего OUT_t потоков:

$$L_{t+1} = L_t + T(IN_t - OUT_t), \quad (1.2)$$

где T – интервал между последовательными решениями, а темпы потоков имеют размерность (единицы/время).

Темп исходящего потока определяется следующим уравнением:

$$OUT_{t+1} = L_t / D, \quad (1.3)$$

Где D – среднее время, необходимое для преодоления запаздывания (среднее время запаздывания).

Запаздывание потока, проходящего через три уровня, называют запаздыванием третьего порядка; оно определяется тремя парами уравнений, аналогичных (1,2)-(1,3), связывающих между собой темпы потоков на входе и на выходе из уровней L_1, L_2, L_3 :

$$R_{t+1}^1 = L_t^1 / D/3 \quad (1.4)$$

$$L_{t+1}^1 = L_t^1 + T \cdot \left(IN_t - \frac{L_{t+1}^1}{D/3} \right) \quad (1,5)$$

$$R_{t+1}^2 = L_t^2 / D/3 \quad (1,6)$$

$$L_{t+1}^2 = L_t^2 + T \cdot (R_t^1 - R_t^2) \quad (1,7)$$

$$OUT_{t+1}^3 = L_t^3 / (D/3) \quad (1,8)$$

$$L_{t+1}^3 = L_t^3 + T \cdot \left(\frac{L_t^2}{D/3} - OUT_t^3 \right) \quad (1,9)$$

Вспользуемся следующим обозначением для представления в сжатой форме уравнений (1,4)-(1,9):

$$OUT_{k+1}^3 = D3(IN_t, d), \quad (1,10)$$

где $D/3$ - указание, что в расчет исходящего потока должно быть включено запаздывание третьего порядка, а d - средняя величина запаздывания.

Выражение (1,10) не является уравнением: оно указывает на то, что задан необходимый набор уравнений для вычисления запаздывания третьего порядка.

Эффективность хозяйственной деятельности современного предприятия зависит от достижения управляемого резонанса логистической цепи – результата синхронизации его внутренних потоковых процессов и синхронизации потоковых процессов ЖЦ НП, участником которого оно является.

В рамках ЖЦ НП должна обеспечиваться синхронизация потоковых процессов, для выполнения равенства темпов выпуска и поставки продукции:

$$Y_{поставки}(t) = Y_{выпуска}(t)$$

В противном случае, когда темп поставки продукции потребителям не совпадает с темпом выпуска готовой продукции по заказам потребителей, возникает риск производства невостребованной продукции (определяется величиной $\Delta Y(t)$) и направляемой на склады готовой продукции:

$$Y(t) = Y_{выпуска}(t) \pm \Delta Y(t)$$

Чтобы оценить риск производства невостребованной продукции $\Delta Y(t)$, необходимо проанализировать обеспеченность продукции заказами на поставку, динамику остатков готовой продукции в каждом звене логистической цепи, их долю в общем объеме продаж и т.д. Динамическая модель СЛП ЖЦ должна служить изучению факторов возникновения $\Delta Y(t)$ и поиску путей минимизации затрат производственно-хозяйственной деятельности, достижения высокой скорости реакции. По величине $\Delta Y(t)$ можно судить об уровне синхронизации потоковых процессов и на отдельном предприятии, и в ЛС в целом.

Ликвидация этой величины обеспечит эффективную логистическую поддержку в интегрированной системе участников ЖЦ .

ВЫВОДЫ

Математическая модель СЛП ЖЦ НП представляет собой динамическую систему с дискретным временем и приведена в виде блок-схем 1-7 (см. приложение к статье).

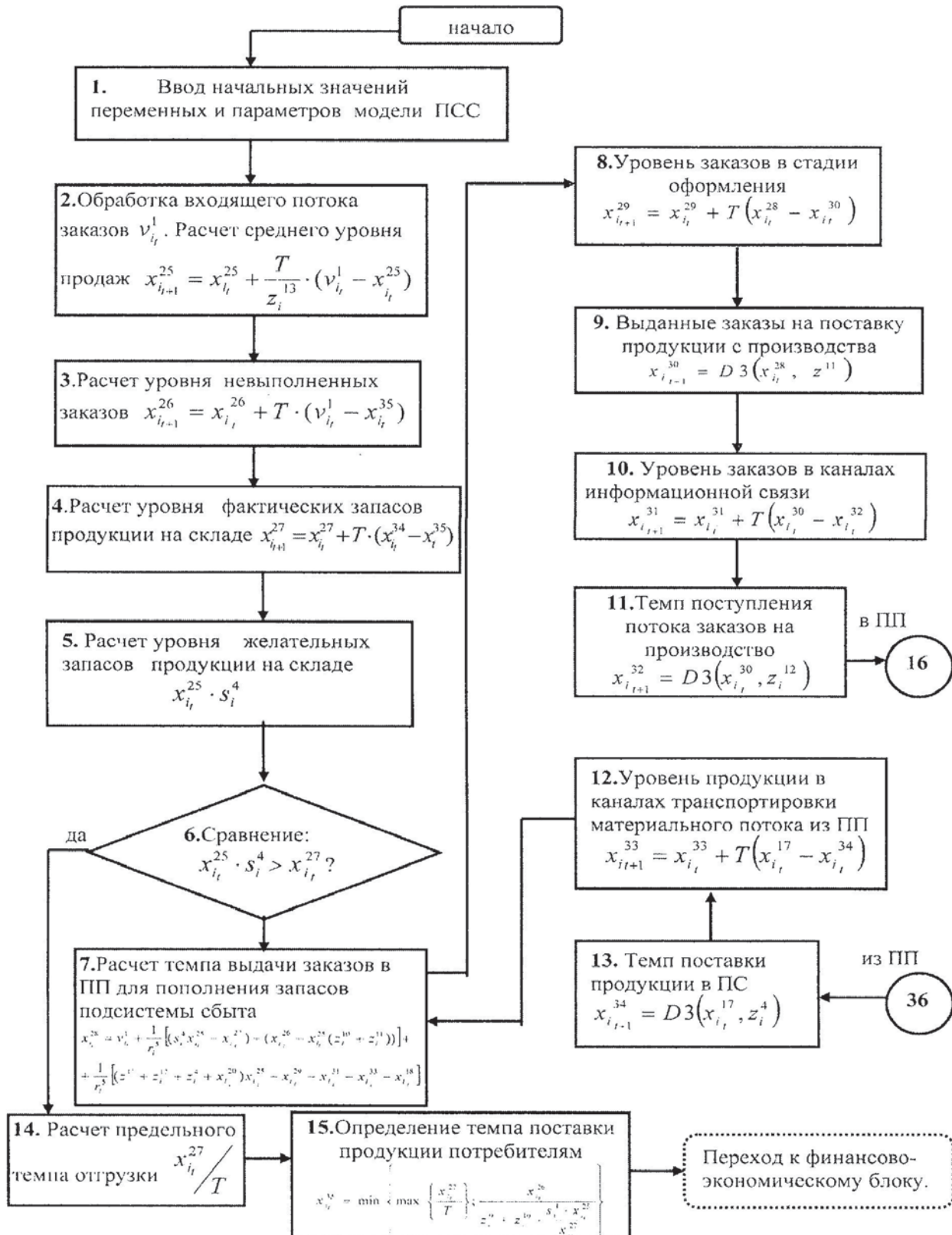
Отметим также, что для динамических систем с непрерывным временем оператором эволюции служат дифференциальные уравнения; способы перехода от непрерывных моделей к дискретным достаточно подробно освещены в специальной литературе. В зависимости от внешних воздействий реализуются различные варианты динамики изменения состояния системы, т.е. ее траектории.

В последнее время появилось значительное число программных продуктов, позволяющих, не углубляясь в тонкости программирования, строить динамические модели и выполнять имитационные расчеты. Таким образом, реализация модели СЛП ЖЦ НП в виде машинной программы не представляет большой сложности, что является одним из ее достоинств.

Приложение

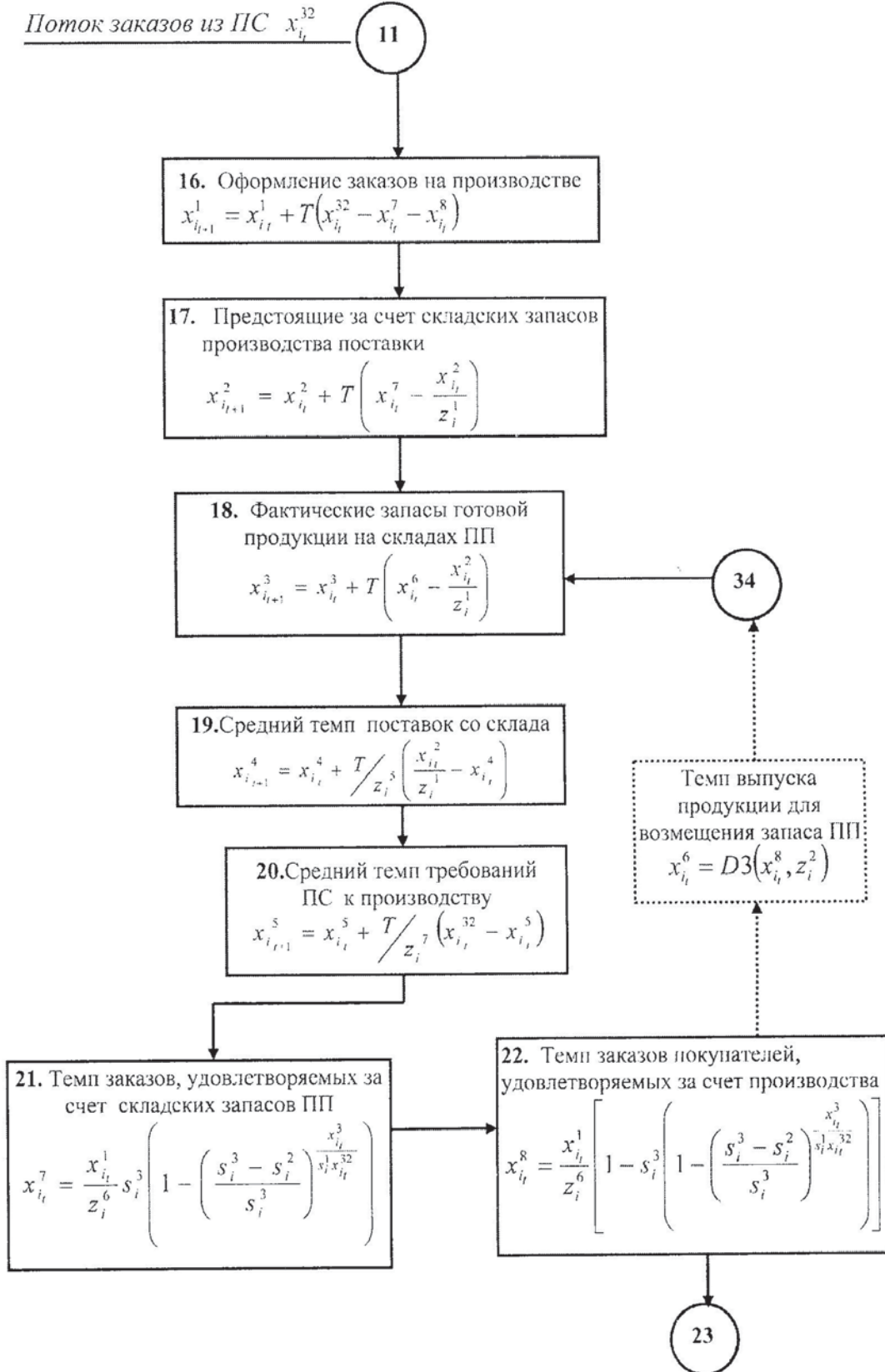
Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем

Блок-схема алгоритма управления этапом сбыта готовой продукции.



Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем
(продолжение)

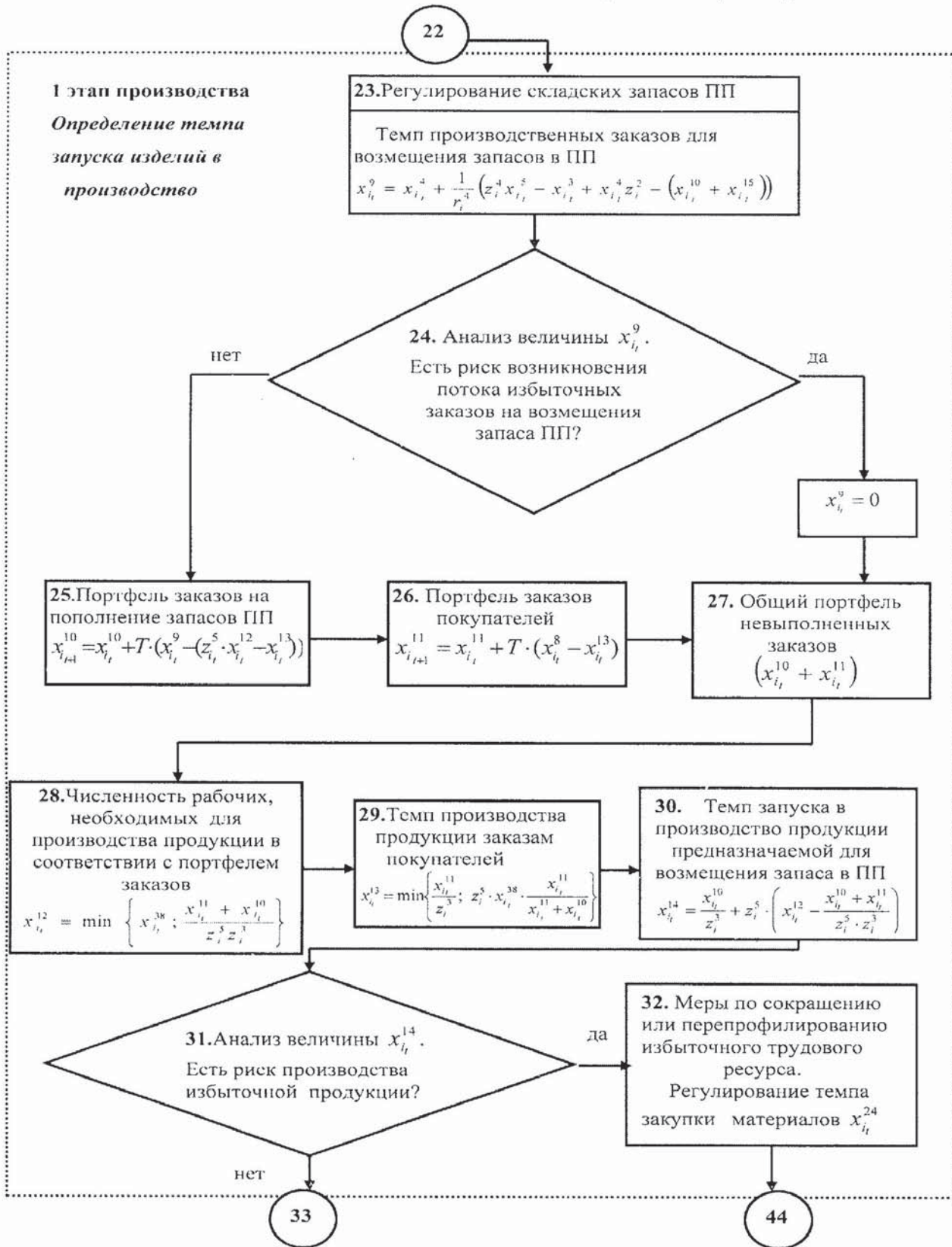
Блок-схема управления этапом производства.



Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем

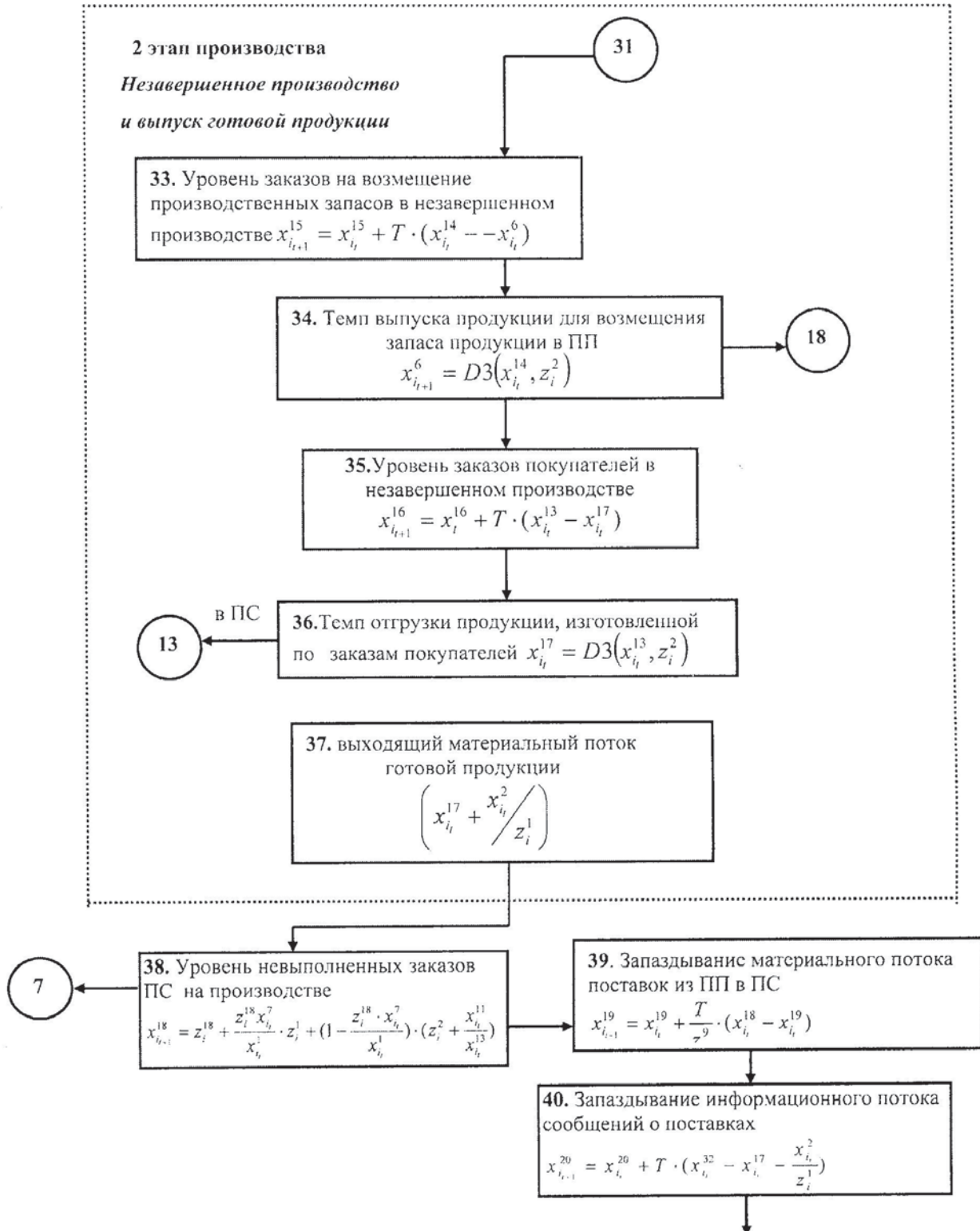
(продолжение)

Продолжение блок-схемы управления подсистемой производства



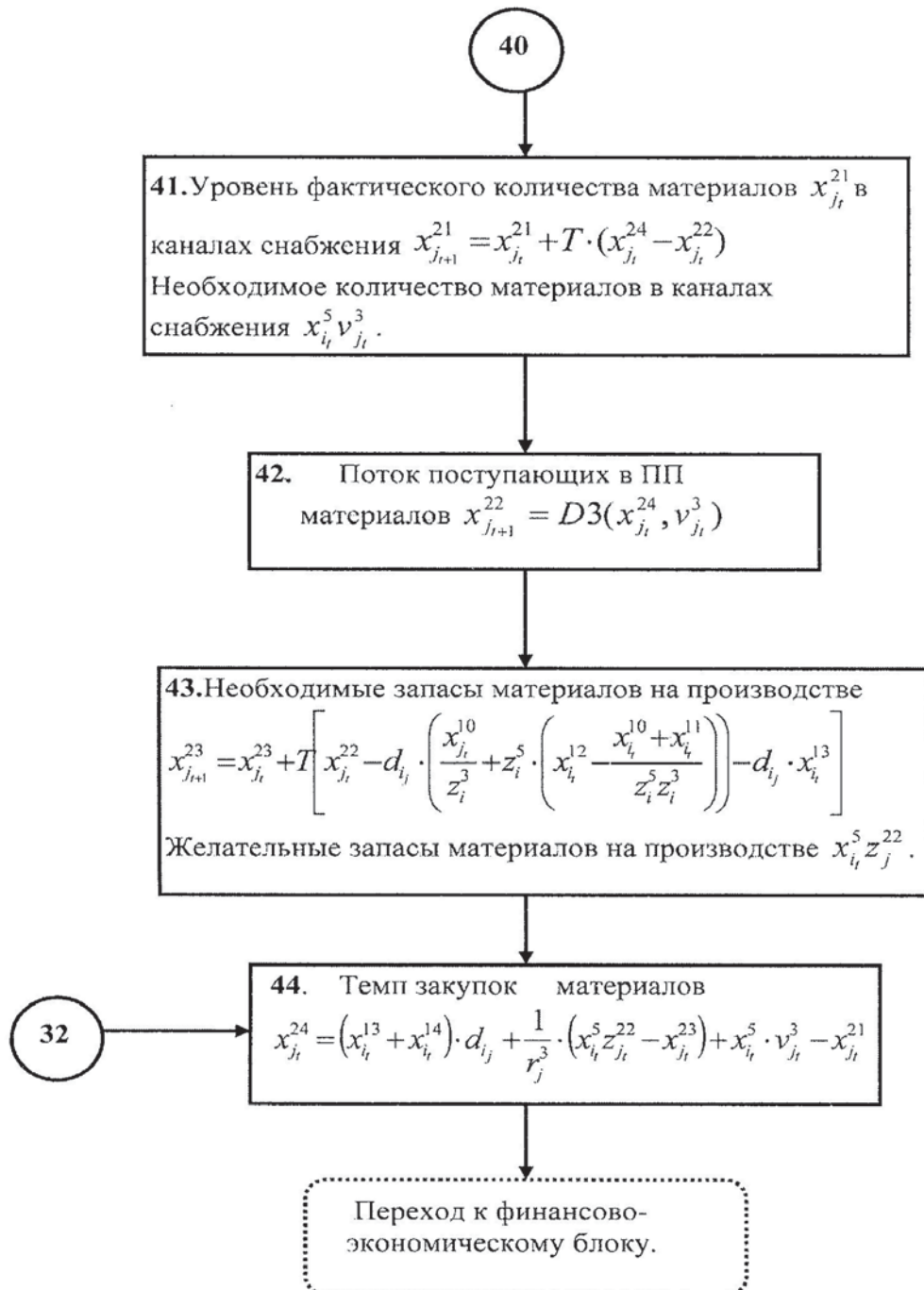
Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем
(продолжение)

Продолжение блок-схемы управления подсистемой производства



Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем
(продолжение)

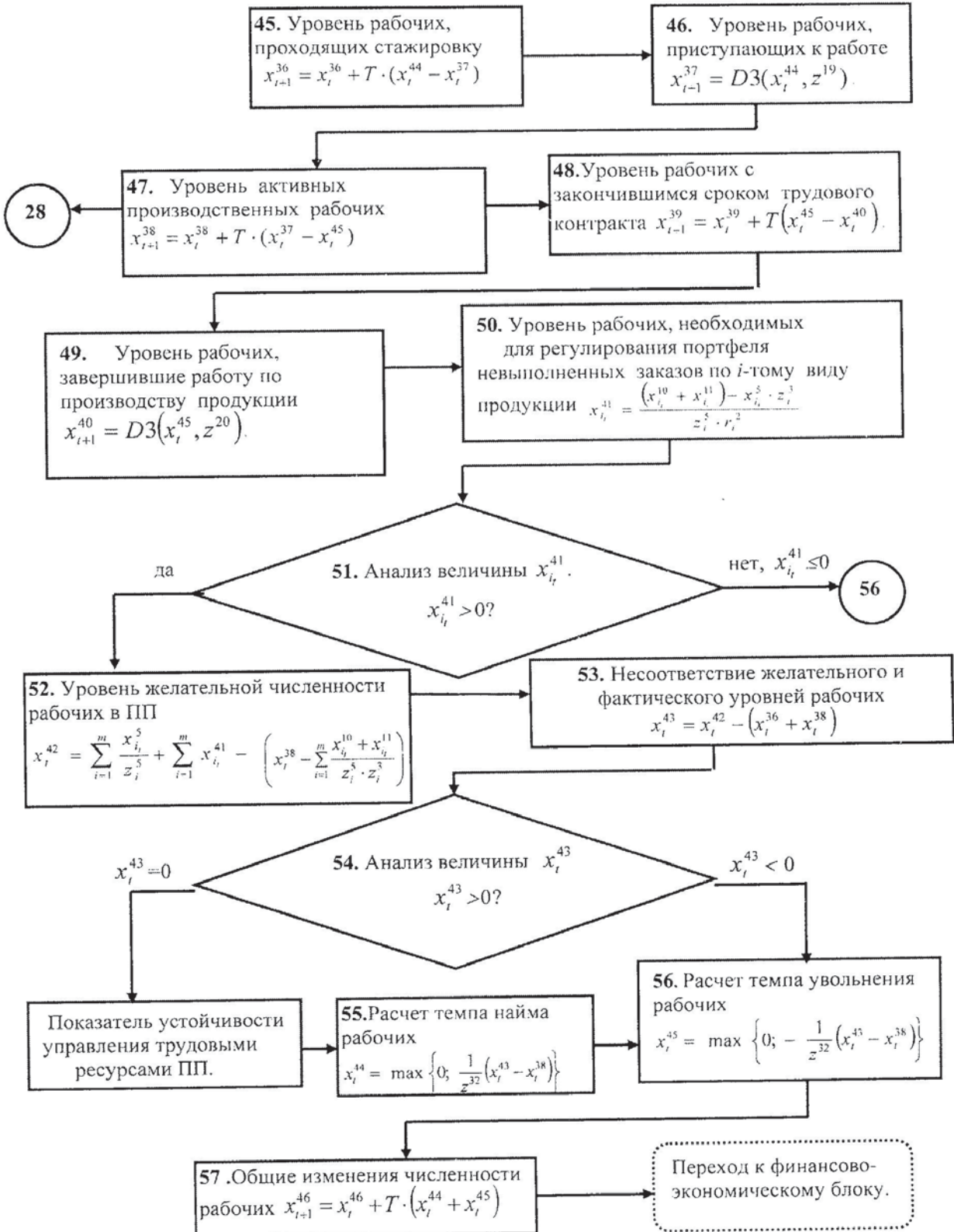
Блок-схема управления процессом снабжения материалами.



Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем

(продолжение)

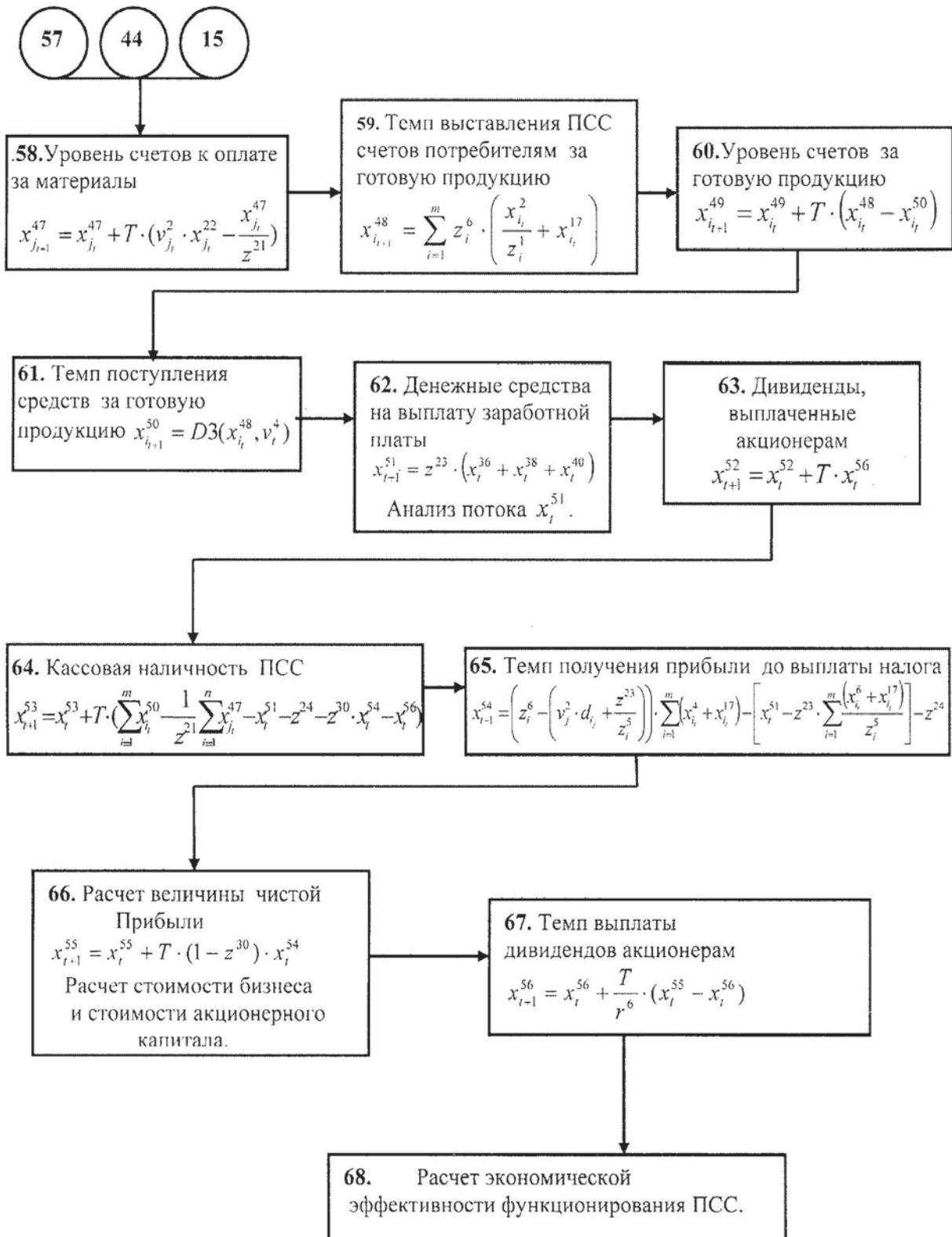
Блок-схема управления кадровым персоналом.



Математическая модель СЛП ЖЦ НП в виде блок-схем

(окончание)

Блок-схема управления финансовыми процессами ЖЦ НП.



**Подписывайтесь на журнал
«Известия высших учебных
заведений. Машиностроение»**

Подписной индекс

70370

в каталоге агентства

«Роспечать»

В журнале освещаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных работниками высших учебных заведений и научных учреждений, по расчету и конструированию машин, энергетическому и транспортному машиностроению, технологии машиностроения, организации и экономике машиностроительного производства; публикуются материалы научных конференций, симпозиумов и семинаров.

Журнал рассчитан на преподавателей, аспирантов и научных работников высших учебных заведений, научно-исследовательских учреждений, конструкторских и проектных организаций.