

На правах рукописи

УДК 658.5

Бром Алла Ефимовна

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ
СОЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ**

05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук



Москва – 2009

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Васильев Виктор Андреевич

доктор технических наук, профессор
Орлов Александр Иванович

доктор технических наук, профессор
Фролов Евгений Борисович

Ведущая организация:

Институт проблем управления
имени В.А. Трапезникова РАН

Защита
заседании
государс
105005.

Бром А.Е.
Разработка концепции и
методологических основ
создания организационной
системы

У1893531

У 1893531

2 2009 года в 14³⁰ часов на
212.141.05 при Московском
имени Н.Э. Баумана по адресу:

ный печатую,

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Московского
ана.



Илаева Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. На данном этапе в глобальной экономике ужесточилась конкурентная борьба среди производителей сложных технических систем военного и гражданского назначения.

Главным фактором в конкурентной борьбе между производителями сложной техники становится не стоимость продукции (затраты приобретения), а затраты владения, связанные с поддержанием надежности на этапе эксплуатации.

Обеспечение эксплуатационной надежности сложной техники становится необходимым условием заключения крупных контрактов на поставку наукоемкой продукции (НП) высокотехнологичных производств – военно-промышленного комплекса, авиационной техники, сложных технических систем других назначений. При этом российское наукоемкое производство должно преодолеть отставание и сохранить позиции в тех наукоемких отраслях, где российские разработки занимали лидирующие позиции (атомная, аэрокосмическая отрасль и др.). Этого невозможно достичь без развития и разработки прогрессивных технологий управления жизненным циклом (ЖЦ) НП, уже успешно и активно внедряемых западными производителями сложных технических систем.

От эффективности логистических систем, объединяющих множество участников ЖЦ НП в рамках единого информационного пространства, зависит возможность оперативного восстановления исправности объектов техники, в конечном итоге – ее надежность на этапе эксплуатации.

Для обеспечения эксплуатационной надежности объектов техники на производственных стадиях необходимо организовать взаимодействие логистических потоков в среде ЖЦ НП. Это позволит избежать негативных факторов, влияющих на затраты владения объектами техники: необоснованных простоев оборудования, избыточных запасов материалов, комплектующих изделий и запасных частей (МКЗ) в системе технического обслуживания, штрафных санкций и снижение прибыли эксплуатанта продукции.

Для решения этих проблем необходима единая концепция, основанная на объединении передовых информационных технологий и прогрессивных стратегий эксплуатации техники в организационную систему логистической поддержки (ЛП) ЖЦ НП.

Несмотря на значительный объем современных исследований по вопросам ЛП ЖЦ НП, большинство из них решает отдельные задачи по автоматизации и управлению логистикой частных процессов ЖЦ.

Отсутствие единой концепции интеграции участников ЖЦ НП в единое информационное пространство, обеспечивающее реактивность и синхронизацию ключевых процессов ЖЦ в соответствии с динамикой эксплуатации изделий в реальном режиме времени, определили необходимость разработки методологии создания организационной системы ЛП ЖЦ НП.

Цель исследования. Основной целью диссертационной работы является разработка концепции и методологии повышения эксплуатационной надежности объектов сложной техники на основе создания организационной системы ЛП ЖЦ НП, позволяющей в режиме реального времени учитывать инерционность информационных процессов и интенсивность использования назначенного эксплуатационного ресурса.

Задачи исследования. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследование и формулирование теоретических проблем надежности изделий машиностроения на стадиях ЖЦ НП;
- разработка концепции построения организационной системы ЛП ЖЦ НП;
- формирование методологических основ интеграции логистических потоков ЖЦ НП в организационную систему на основе кибернетического подхода;
- разработка подхода к управлению инерционностью процессов ЖЦ НП, позволяющего регулировать реактивность системы;
- разработка структуры и системы показателей кибернетической модели организационной системы ЛП ЖЦ НП, отражающих динамику процессов производства и эксплуатации изделия;
- разработка метода определения фактической потребности в МКЗ на основе интенсивности эксплуатации назначенного ресурса объектами техники;
- разработка комплекса экономико-математических моделей и алгоритмов интеграции процессов производства и эксплуатации техники в организационную систему ЛП ЖЦ НП;
- построение функциональных моделей организационной системы ЛП ЖЦ НП, обеспечивающей эксплуатационную надежность объектов техники на основе организации взаимодействия информационных потоков в среде ЖЦ НП.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследования выбрана организационно-хозяйственная деятельность предприятий наукоемких отраслей российской промышленности при создании систем интегрированной ЛП (ИЛП) ЖЦ изделий.

Предметом исследования являются вопросы теории и методов повышения эксплуатационной надежности изделий наукоемкого машиностроения на основе создания организационной системы ЛП ЖЦ НП.

Теоретическая и методологическая основа исследования. Для решения поставленных в диссертации задач использовались методология анализа и синтеза сложных систем в кибернетике, теория проблем управления, теория надежности,

методы экономико-математического моделирования, промышленная логистика, основы имитационного моделирования динамических систем, методы функционального моделирования с использованием стандарта IDEF0.

Научная новизна исследования состоит в следующих, выносимых на защиту, результатах:

- предложена концепция организационной системы ЛП ЖЦ НП, основанная на объединении прогрессивных стратегий эксплуатации сложной техники, логистических и информационных технологий в единое информационное пространство;
- разработаны методологические основы построения организационной системы ЛП ЖЦ НП как кибернетического объекта, в котором процессы ЖЦ рассматриваются как преобразователи информации в замкнутом контуре обратных связей «производство – эксплуатация»;
- предложен и научно обоснован метод формализации инерционных свойств процессов ЖЦ НП, что дает возможность управлять реактивностью организационной системы ЛП ЖЦ НП на основе минимизации времени реакции системы на внешние возмущения и различные воздействия;
- сформированы структура и система показателей кибернетической модели организационной системы ЛП ЖЦ НП, отражающие динамику протекания процессов производства и эксплуатации изделий;
- разработан новый научный подход, основанный на методе определения фактической потребности в материалах, комплектующих изделиях и запасных частях (МКЗ) объектами техники, учитывающий выработку изделием назначенного ресурса в зависимости от интенсивности эксплуатации;
- разработаны динамические модели и комплекс алгоритмов управления организационной системой ЛП ЖЦ НП, позволяющие синхронизировать динамику производства МКЗ и интенсивность эксплуатации изделия, обеспечивающие минимизацию запасов и оперативное поступление МКЗ в службы технического обслуживания и ремонта (ТОиР);
- разработаны функциональные модели организационной системы ЛП ЖЦ НП, обеспечивающие эксплуатационную надежность сложной техники на основе организации эффективного взаимодействия участников ЖЦ НП.

Практическая значимость работы заключается:

- в ликвидации необоснованных простоев объектов техники, обусловленных дефицитом материалов, комплектующих изделий и запасных частей на складах служб ТОиР, что обеспечит повышение надежности НП на этапе эксплуатации;

- в формировании рациональной системы материально-технического снабжения процессов эксплуатации НП в соответствии с фактическими потребностями парка техники в МКЗ для проведения ТОиР;
- в корректировке производственной программы по выпуску МКЗ для продукции в соответствии с изменением условий и режимов эксплуатации изделий, что позволит минимизировать запасы МКЗ и обеспечит ритмичность производственных функций;
- в реализации разработанного комплекса алгоритмов управления процессами ЖЦ в качестве программного модуля информационно-управляющей системы ЛП ЖЦ НП в режиме реального времени.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные теоретические и методические положения диссертации докладывались и получили положительную оценку на заседаниях кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (2004–2009 гг.), научно-технического совета ЗАО «Стинс Коман» (2006 г.), научно-технической комиссии по формированию основных подходов к ресурсному обеспечению материально-технической базы авиационной промышленности ЗАО «Авиапром» (2008 г.), научно-технической комиссии по метрологии и измерительной технике Ростехрегулирования (2009 г.), заседании межкафедрального научного семинара научной технико-экономической комиссии научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент», а также на всероссийских и международных научно-практических конференциях и симпозиумах: «Авиадвигатели XXI века» (Москва, 2005 г.), «Третья международная конференция по проблемам управления» (Москва, 2006 г.), «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (Москва, 2007 г. и 2008 г.), «Управление инновациями – 2007» (Москва, 2007 г.), «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2008 г.), «Эффективная логистика» (Челябинск, 2008 г.).

Результаты диссертации используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении семинарских и практических занятий по дисциплинам «Интегрированная логистическая поддержка наукоемкой продукции» и «Интеграция наукоемких производств» в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Результаты диссертации апробированы и приняты для внедрения в ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ЗАО ЗЭМ РКК «Энергия» им. С.П. Королева, ОАО «ЦНИИ «Курс» и ООО «Стратеджи Партнерс» что подтверждено соответствующими документами.

Публикации. Результаты диссертационного исследования изложены в двух монографиях, учебнике, учебном пособии, а также статьях и докладах в научных сборниках и журналах. По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, из которых 13 статей в журналах, входящих в перечень утвержденных ВАК Минобрнауки России. Общий объем работ, опубликованных по теме диссертации, составляет 54,3 печ. л., в том числе 39,5 печ. л. написаны лично соискателем.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и результатов, списка литературы, включающего 196 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Глава первая «Проблемы создания эффективных систем управления жизненным циклом наукоемкой продукции» посвящена анализу основ информационной интеграции и создания автоматизированных систем поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции.

В 21 веке основой повышения эффективности управления ЖЦ наукоемкой продукцией стали информационные CALS/ИПИ-технологии, интегрирующие в единое информационное пространство участников жизненного цикла изделия за счет автоматизации процессов проектирования, производства и эксплуатации сложной техники.

На основе многолетнего опыта эксплуатации сложных технических систем в западных странах в начале 21 века стала складываться концепция интегрированной логистической поддержки (ИЛП), являющейся важной составной частью CALS-технологий. Определение в западной терминологии дефиниции «интегрированная логистическая поддержка» связано с существенным изменением требований, предъявляемых к надежности сложной техники: для сложной наукоемкой продукции, нуждающейся в ремонтном обслуживании и имеющей длительный срок использования, затраты, возникающие на этапе эксплуатации, как правило, в несколько раз превышают затраты на приобретение изделия.

Поэтому создание и внедрение систем ИЛП в первую очередь было связано с поддержкой ЖЦ техники на этапе эксплуатации, и их главные задачи заключаются в предотвращении неоправданных потерь времени и ресурсов различного вида в процессе организации взаимодействия участников ЖЦ продукта.

Система ИЛП представляет информационно-организационное сопровождение ЖЦ изделия, т.е. физически реализуется через интеграцию информационных потоков, выполняемых процессов и соответствующих компьютерных систем участников ЖЦ.

На данный момент системы ИЛП находятся на стадии разработки и законченных решений в этой области нет.

Конечной целью любой логистической системы является своевременное удовлетворение потребностей. Но поскольку особенности будущего спроса являются неизвестными по определению, то это делает планирование производства и поставок материалов, комплектующих изделиях и запасных частях (МКЗ) более трудным и рискованным.

Одна из основных причин, по которой любая эксплуатирующая сложную технику организация имеет резервный запас МКЗ, заключается в существовании неопределенности относительно будущего спроса. Кроме того, при постав-

ке одновременно с объектом техники элементы МКЗ рассчитываются по одной цене, а при удовлетворении потребности в них на этапе эксплуатации (особенно при окончании гарантийного срока) цена гораздо выше, что связано с необходимостью повторного запуска производства.

Даже на самых современных объектах случаются непредвиденные поломки и аварии. Современные технические возможности позволяют осуществить ремонт и восстановить утраченную работоспособность практически для любых отказов (кроме особых случаев, например, при гибели изделия в результате катастрофы). Но по какой бы причине не произошел бы отказ, для эксплуатанта в первую очередь имеет значение показатели готовности объекта техники, зависящие от возможности замены отказавшего узла. Главный вопрос стоит о временных и материальных затратах на проведение ремонта и обеспечение соответствующими МКЗ. Поэтому для объектов сложной техники всегда было необходимо тщательное определение спроса на МКЗ для всего ЖЦ.

В теории управления запасами (ТУЗ) спрос на запчасти рассчитывается на основании статистических данных за прошлые периоды времени или прогнозируется как вероятностная величина. ТУЗ самым тесным образом связана с учетом именно вероятностной природы процесса поставки и потребления, которые в реальной жизни подвержены огромному числу случайно действующих факторов. Но спрогнозировать изменение условий и режимов эксплуатации, появление пиковых нагрузок на объект техники в процессе эксплуатации, невозможно. Кроме того, на этапе проектирования прогнозу подлежат ресурс генеральной совокупности изделий, а на этапе эксплуатации определение остаточного ресурса должно выполняться индивидуально для конкретного объекта. Все это ведет к созданию запасов МКЗ, значительно превышающих фактические потребности.

В мире высоких технологий не только вводятся в эксплуатацию новейшие сложные технические системы, но и стремятся применять современные формы их эксплуатации на основе внедрения систем радиочастотной идентификации (RFID), средств диагностики, мониторинга и контроля фактического состояния составляющих элементов и объекта в целом.

Приоритетным направлением в сфере поддержки ЖЦ НП становится разработка и создание автоматизированных логистических систем быстрого реагирования: сканирование информации с основных узлов/агрегатов объекта и передача ее по беспроводным каналам связи на порталы управления ЖЦ НП позволит принимать оптимальные решения по управлению производством и поставкой МКЗ и послепродажному обслуживанию сложной техники (рис. 1).

Чтобы обеспечить высокую скорость прохождения информации о фактическом состоянии изделия и формирования ответной реакции элементами таких систем, необходима эффективная организация взаимодействия процессов в информационной среде ЖЦ НП.



Рис. 1. Логистическая система мониторинга и диагностики состояния объектов техники

Поэтому на данный момент необходимо разработка концепции и методологических основ создания организационной системы ЛП ЖЦ НП, основанной на объединении передовых информационных технологий и прогрессивных стратегий эксплуатации техники и обеспечивающей повышение эксплуатационной надежности НП.

Вторая глава «Формирование концепции организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции» посвящена разработке теоретических основ обеспечения эксплуатационной надежности объектов техники и обоснованию кибернетического подхода к синтезу потоковой структуры организационной системы логистической поддержки ЖЦ НП.

Надежность характеризуется рядом различных свойств, количественная характеристика которых является показателем надежности. Основными из них являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

В работе различается надежность изделий на этапах проектирования, производства и эксплуатации, и в целях исследования выделяется эксплуатационная надежность.

Под эксплуатационной надежностью (ЭН) изделия понимается его способность сохранять работоспособность при использовании в течение определенного промежутка времени или назначенного ресурса. Уровень ЭН обуславливается следующими факторами: порядком применения изделия, стратегиями и условиями эксплуатации, способами технического обслуживания, возможностями оперативного восстановления работоспособности и ремонта различных деталей и узлов, квалификацией персонала. Поэтому исследование способов повышения ЭН включает в качестве ключевых элементов не только собственно эксплуатируемый объект, но также и организацию процессов его эксплуатации и технического обслуживания.

Решение задачи обеспечения ЭН продукции связано с учетом множество разнообразных и часто противоречивых факторов, среди которых можно выделить основные:

- вопросы эффективности эксплуатации изделий, причем затраты эксплуатационного этапа для потребителя имеют первостепенное значение, так как обеспечение надежности на этом этапе и организация эффективной системы ТОиР влечет за собой дополнительные расходы;
- необходимость учитывать реальные технологические возможности и производственные мощности;
- фактические условия, режимы и стратегии эксплуатации.

Изделия, находящиеся в эксплуатации, обладают встроенной надежностью T_0 - рассчитанным на этапе проектирования значением средней наработки до отказа T_0 , которое определяют, исходя из интенсивности отказов комплектующих элементов и подсистем λ_i и необходимости выполнения условий и режимов эксплуатации изделия. Значения λ_i получены конкретно для условий эксплуатации изделия, оговоренных заказчиком или прописанными нормами в техническом задании (ТЗ).

Встроенную надежность T_0 изделия можно определить отношением продолжительности этапа эксплуатации t к суммарному числу отказов k , или

$$T_0 = \frac{t}{k_{\text{пост.}} + k_{\text{внез.}}},$$

где $k_{\text{пост.}}$ - ожидаемое расчетное число постепенных отказов, $k_{\text{внез.}}$ - среднее число внезапных отказов. Вероятность предотвращения постепенного отказа на временном периоде t (т.е. вероятность выявления дефектного элемента) в теории надежности определяется как

$$P(t) = \frac{k_{\text{пост.}}}{k_{\text{пост.}} + k_{\text{внез.}}} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_n}} \right),$$

где t_n - среднее время, необходимое для обнаружения дефектного элемента. Величина t_n является функцией, зависящей от множества факторов: наличия средств диагностики и контроля, квалификации и оперативности обслуживающего персонала, степени сложности объекта, количества элементов и подсистем изделия, подвергающихся контролю, наличия запасных частей на складах служб ТОиР и т.д. Таким образом, вероятность предотвращения постепенного отказа $P(t)$ определяется стратегией эксплуатации объекта и эффективностью организации системы ТОиР. Поэтому число постепенных отказов при применении прогрессивных форм и методов ТОиР может быть фактически уменьшено до значения

$$k_{\text{пост.}}^2 = k_{\text{пост.}} (1 - P).$$

Среднее число внезапных отказов $k_{\text{внез.}}$ также можно уменьшить – в эксплуатационный период λ -характеристика носит приблизительно постоянный характер, и появление внезапных отказов на этом этапе в большинстве случаев связано с расхождением условий эксплуатации объекта, прописанными в ТЗ, с фактическими. Но внедрение средств диагностики и мониторинга фактического состояния изделий позволяет учесть появление пиковых нагрузок, изменение условий и интенсивности эксплуатации; следовательно, величину $k_{\text{внез.}}$ можно также уменьшить путем эффективной организации системы ТОиР продукции:

$$k_{\text{внез.}}^2 = \lambda_g t.$$

Таким образом, повышение ЭН продукции зависит от способов и подходов к сокращению числа отказов изделия при эксплуатации, где ключевую роль играют стратегии эксплуатации, формы организации рациональной системы ТОиР, оперативное материально-техническое снабжение, т.е. скорость реакции участников ЖЦ НП на изменение динамики эксплуатации изделия.

В начале XXI в., с ростом информационных технологий, разработки методов штрихового кодирования, лазерных сканеров и устройств электронного обмена данными возникло одно из направлений метода Just-in-time – логистика быстрого реагирования (ЛБР), стратегическим элементом которой является фактор времени, а целью – быстрота оценки возникшего спроса. ЛБР образует замкнутый контур взаимосвязи двух ключевых понятий логистики «время-запасы» (рис. 2, 3) и представляет собой ответ на растражированный призыв к «замене запасов информацией».



Рис. 2. Замкнутый контур взаимосвязи двух ключевых понятий логистики «время-запасы» в реактивной логистике

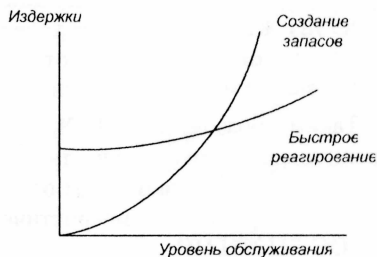


Рис. 3. Преимущества системы быстрого реагирования перед традиционной системой, основанной на создании запасов

Таким образом, ЛБР дает возможность определить системы ЛП ЖЦ НП как реактивные системы, в которых обеспечивается высокая скорость реакции на различного рода изменения окружающей среды и различные воздействия, возмущающие систему; причем реакции зависят как от воздействий, так и от состояния, в котором система находится. Основное отличие реактивных систем от систем, функционирующих в относительно стабильных внешних условиях, – невозможность точно спрогнозировать момент поступления воздействий, что является следствием изменчивости условий функционирования системы.

От реактивности (высокой скорости реакции) системы ЛП ЖЦ НП на различные сигналы и изменения условий эксплуатации зависит ЭН изделия. Интеграция в единое информационное пространство множества участников ЖЦ изделия приводит к проблеме организации взаимодействия участников и процессов ЖЦ НП.

Для решения этих проблем в работе сформулирована концепция организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции, сущность которой заключается в обеспечении оптимальной временной и пространственной организации процессов ЖЦ НП, основанном на объединении прогрессивных логистических и информационных технологий с целью повышения эксплуатационной надежности изделия.

Организационная система (ОС) ЛП ЖЦ НП «вбирает» в себя все процессы и элементы предприятий-участников ЖЦ для их последующей организации и оптимизации в рамках единой информационной среды ЖЦ НП.

Обеспечить эффективную организацию, реактивность и синхронизацию ключевых процессов ЖЦ в едином информационном пространстве возможно только на основе единых информационных каналов. Внедрение прогрессивных средств мониторинга и диагностики дает возможность «видеть» фактический спрос на запасные части к продукции в режиме реального времени. Преимущества ОС ЛП ЖЦ определяются качеством организации и управления информационными потоками, идущими от точки возникновения потребности в продукте через все звенья и этапы ЖЦ к системам управления производством.

Таким образом, ОС ЛП ЖЦ НП представляет объединение каналов информационных потоков и участников ЖЦ, выступающих как преобразователи информации. Это соответствует определению кибернетического объекта и дает возможность применить кибернетический подход к исследованию и моделированию ОС ЛП ЖЦ НП.

Кибернетический подход предусматривает как декомпозицию систем на составные элементы (подсистемы), так и синтез систем из отдельных элементов. На первом уровне декомпозиции ОС ЛП ЖЦ НП может быть представлена в виде кибернетической модели соединенных каскадно и охваченных обратной связью двух основных подсистем: подсистемы производителей (ПП) запасных частей и подсистемы эксплуатации (ПЭ) (склады, сервисные центры ТОиР и т.д.), связанных между собой информационными и материальными потоками (рис.4).

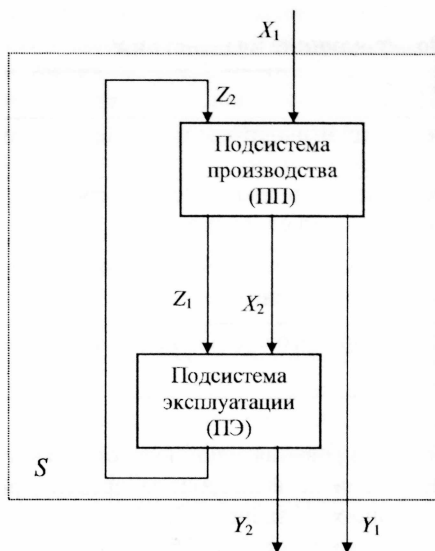


Рис. 4. Концептуальная граф-модель организационной системы ЛП ЖЦ НП:
 x_1, x_2 – входной/выходной материальные потоки; y_1, y_2 – выходные материальные потоки; z_1, z_2 – входной/выходной информационные потоки

Производственный продукт проходит через элементы системы от входа к выходу и этот процесс перемещения продукта в системе оценивается временем t его прохождения через элементы. В кибернетике производственно-технологическая деятельность рассматривается как процесс переработки, накопления и перераспределения ресурсных потоков.

Такой подход к исследованию логистической системы, оперирующей ресурсными потоками кибернетической модели, позволяет выделить, кроме просто объема передаваемых ресурсов, следующие ключевые факторы, основополагающие для анализа динамики и поиска методов достижения высокой реактивности систем поддержки ЖЦ:

- время поступления ресурсов;
- интенсивность ресурсного потока;
- пропускная способность канала движения ресурса;
- инерционность блока переработки ресурса.

В качестве главных возмущающих воздействий на функционирование организационной системы ЛП ЖЦ НП в работе выделяются следующие сигналы (табл. 1).

Возмущающие воздействия

v^1	спрос на МКЗ к изделиям
v^2	стоимость потребляемых производством материалов и комплектующих
v^3	своевременность поставки материалов и комплектующих от поставщика к производителю (в ед. времени);
v^4	своевременность получения оплаты за поставленную продукцию от эксплуатанта изделий (в ед. времени);
v^5	увольнение (текучесть) кадрового состава на предприятии-производителе.

Для устойчивого функционирования машиностроительного производства необходимо, чтобы его показатели не выходили за пределы рабочей области даже при наличии возмущающих воздействий. Выравнивание показателей кибернетической системы во время переходного процесса осуществляется с помощью регулятора, роль которого в системах поддержки ЖЦ выполняют руководители предприятий-участников ЖЦ изделия и управляющие структурных звеньев. Максимальная величина времени регулирования соответствует максимально возможному изменению переменных системы во время переходного процесса (табл. 2).

Таблица 2

Показатели времени регулирования

r^1	время регулирования соответствия материального потока готовой продукции информационному потоку сообщений о поставках
r^2	время регулирования объема невыполненных заказов на запчасти от эксплуатантов техники на производстве. Этот параметр зависит от технологических возможностей производства: если заказы на m видов продукции выполняются последовательно, то $r_i^2 = \max\{r_1^2, \dots, r_m^2\}$, $i = \overline{1, m}$;
r^3	время регулирования запасов материалов и комплектующих на производстве;
r^4	время регулирования запасов готовой продукции на складах производства
r^5	время регулирования запасов продукции в подсистеме эксплуатации и в каналах материального потока, идущих от производителя
r^6	время регулирования уровня дивидендов акционеров предприятия

Третья глава «Разработка методологии построения организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции» посвящена решению проблем управления инерционными свойствами и распространением воздействий в едином информационном пространстве ЖЦ изделия, изложению основных требований к созданию реактивных логистических систем, формированию потоковой структуры и системы показателей ОС ЛП ЖЦ НП, отражающих динамику процессов ЖЦ НП.

Динамика внешней среды определяет динамику внутренней среды организационной системы ЛП ЖЦ НП, связанной с ней потоками ресурсов и информации. Распространение информационных сигналов в таких системах имеет сложный характер и может привести к негативным последствиям. Ключевое значение для ОС ЛП ЖЦ НП имеет определение закономерности прохождения и распространения сигналов изменения спроса и формирования ответной реакции.

Проблема быстроты реакции осложняется ситуацией эффекта кнута (Bull-whip-эффект), когда незначительные колебания спроса конечного потребителя вызывают лавинообразный эффект нарастающих колебаний переменных материальных потоков других участников ЖЦ НП.

Динамика спроса порождает увеличение размаха амплитуды колебаний во всех каналах системы, приводит к нарушению ритмичности и непрерывности движения потоков. В результате - создание дополнительных страховых запасов, невыполнение поставок в срок, необоснованные простои техники и штрафы.

Эффект кнута усугубляется ошибками в прогнозировании спроса на запасные части и планировании производственной программы, недостатком информации о фактической наработке назначенного ресурса. Десинхронизация потоков порождает колоссальную запасозависимость эксплуатантов продукции от наличия запасных частей к технике.

Поэтому эффективность управления такой сложной структурой, как ОС ЛП ЖЦ НП, зависит от возможностей управления инерционностью процессов: это обеспечит реактивность и синхронизацию потоков.

Когда происходит изменение спроса на продукцию, то для того, чтобы величина предложения стала соответствовать величине спроса, необходимо определенное время, в течение которого изменяются величины темпов потоков и уровней подсистем производства и реализации продукции – они не могут измениться мгновенно. Это временное запаздывание характеризует инерционные свойства любого предприятия и определяет скорость протекания переходного процесса в каждом звене системы.

В информационных потоковых системах небольшие изменения в одном из элементов в обязательном порядке приводит к изменению в других элементах, на других уровнях структуры. При отсутствии системы выравнивания это может привести к критическим трудностям при организации производства: к серьёзным проблемам при планировании и установке мощностей, к значительной вариации количества запасов, несогласованных с фактическими колебаниями спроса, высокому уровню буферных запасов. Искажения растут по мере отдаления от конечного потребителя по цепочке поставок: от потребителей к роз-

ничным поставщикам, от розничных к оптовикам, от оптовиков к производителям, от производителей к поставщикам и поставщикам поставщиков.

Поэтому эффективность деятельности современного предприятия зависит от достижения управляемого логистического резонанса – результата синхронизации внутренних потоковых процессов и синхронизации потоковых процессов логистических цепей, участником которых оно является.

Именно синхронизация потоковых процессов в контуре «производство/поставка МКЗ – эксплуатация объекта» обеспечит эксплуатационную надежность техники.

Кибернетический подход позволяет сформировать потоковую структуру и показатели ОС ЛП ЖЦ НП, отражающие динамику протекания потоковых процессов.

Каждый элемент структуры кибернетической модели ОС ЛП ЖЦ НП можно представить в виде накопителя, характеристикой состояния которого является уровень (объем) находящегося в нем содержимого – это могут быть материалы, денежные средства, технико-экономическая документация, программы выпуска продукции и планы обслуживания, изменения конфигурации, статистика эксплуатации, трудовые ресурсы, заказы потребителей на поставку изделий и их обслуживание и т.д.. Понятию «уровень» соответствует экономическая категория запасов. Уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы, объединяющей участников ЖЦ.

Уровни связаны между собой потоками; в общем случае каждый уровень может иметь несколько каналов входящих и исходящих потоков. В свою очередь темпы определяют уровни, являющиеся определенным по времени интегралами потоков.

Для отражения специфики реактивных систем (текущее поведение такой системы обусловлено ее прошлым состоянием) и получения численных решений использовался аппарат конечно-разностных уравнений, характеризующий функционирование элементов системы в дискретном времени и создающий основу для управления процессами ЖЦ НП по отклонениям.

Пусть L_t^j – значение уровня содержимого j -го накопителя системы в момент времени t . Тогда значение уровня L_{t+1}^j в следующий момент времени $t+1$, накопленный благодаря различию в темпах входящего IN_t^j и исходящего OUT_t^j потоков, можно получить с помощью разностного уравнения:

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

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

Скорость протекания процесса перехода предприятия с одного режима функционирования на другой в каждом звене системы ЛП ЖЦ НП определяется временным промежутком, в течение которого изменяются величины темпов потоков и уровней. Чем меньше длительности переходных

процессов, тем быстрее ОС ЛП ЖЦ НП адаптируется к изменениям условий и режимов эксплуатации. Скорость протекания переходного процесса зависит от вида и продолжительности временных запаздываний, образующихся в контурах потоковых процессов ЖЦ.

Запаздывание характеризует процесс преобразования, в результате которого на основе заданного темпа входящего потока устанавливается темп потока на выходе и представляет собой время, необходимое для достижения определенного качественного и количественного показателя потока на выходе. Запаздывания изображаются в модели набором разностных уравнений темпов и уровней, характеризующих рассматриваемый поток.

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

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

Темп исходящего потока определяется следующим уравнением:

$$OUT_{t+1} = L_t / D,$$

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

Запаздывания в параллельных процессах группируются путем переноса в общий канал потока. Запаздывания, возникающие в процессах, следующих последовательно, группируются в представлении общего запаздывания. Запаздывания высшего порядка получаются путем проведения потока через два или более последовательно расположенных запаздывания первого порядка:

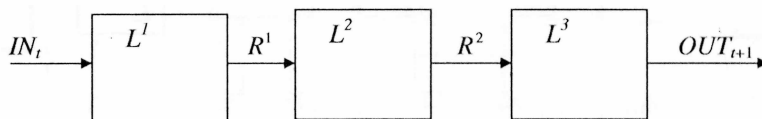


Рис. 5. Запаздывание последовательных процессов

Например, запаздывание третьего порядка проходит через три уровня и определяется тремя парами уравнений, аналогичных вышеприведенным, связывающих между собой темпы потоков на входе и на выходе из уровней L_1 , L_2 , L_3 .

$$R_{t+1}^1 = L_t^1 / D/3$$

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

$$R_{t+1}^2 = L_t^2 / D/3$$

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

$$OUT_{t+1} = L_t^3 / (D/3)$$

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

Динамика эксплуатации техники определяет динамику внутренней среды ОС ЛП ЖЦ НП. Чем меньше длительности переходных процессов, тем меньше инерционность системы, тем реактивнее система поддержки ЖЦ, тем быстрее она адаптируется к изменениям условий и режимов эксплуатации объектов техники.

Базовую структуру ОС ЛП ЖЦ НП можно представить в виде уровней - этапов и процессов ЖЦ изделия – подсистем проектирования, производства и сбыта, складов готовой продукции, поставщиков материалов, транспортных организаций, потребителей готовой продукции и служб ТОиР, связанных циркулирующими между ними материальными и информационными потоками, и своеобразных уровней-запаздываний (рис. 6).

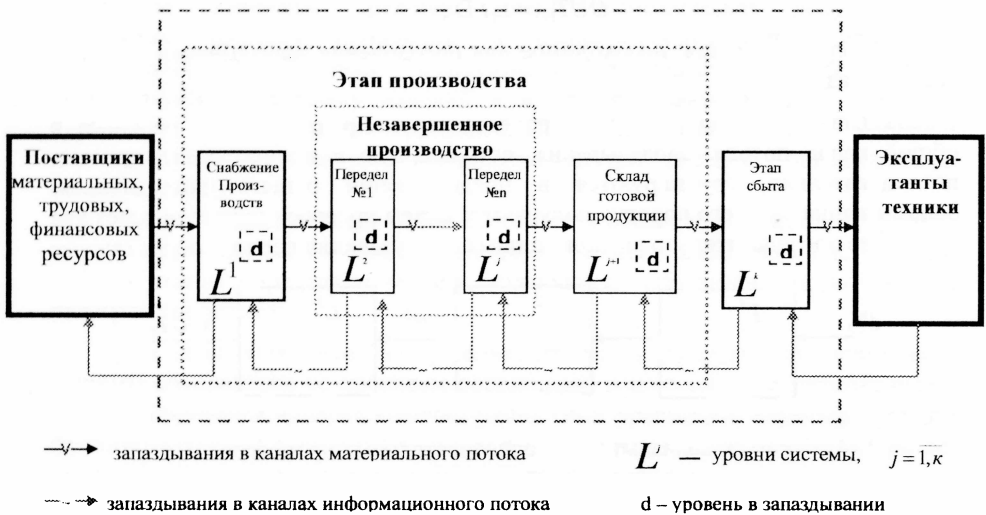


Рис. 6. Базовая потоковая структура организационной системы ЛП ЖЦ НП

На основе исследования динамики протекания ключевых процессов ЖЦ - производства и эксплуатации продукции – в работе разработана система кибернетических показателей с выделением временных параметров переходных процессов. Система содержит 96 показателей входа, выхода и внутреннего состояния основных элементов базовой потоковой структуры ОС ЛП ЖЦ НП: подсистем производства (ПП) и эксплуатации продукции, процессов материально-технического снабжения производства, управления персоналом и финансово-экономический блок. Фрагмент таблицы показателей приведен в табл. 3.

**Фрагмент таблицы кибернетических показателей
организационной системы ЛП ЖЦ НП**

Этап/элемент ЖЦ НП	Кибернетический показатель и его экономическая интерпретация	Вид показателя
<u>Подсистема производства</u>	<u>Показатели внутреннего состояния</u>	
	x_i^1 - уровень заказов на i -тый вид МКЗ, находящихся в оформлении;	переменный
	z_i^1 - запаздывание отгрузки МКЗ в ПП;	врем. параметр
	<u>Показатели входа</u>	
	x_i^{32} - инф.поток заказов потребителей, получаемый производителем продукции;	переменный
	v_j^3 - запаздывание поставки материалов в ПП;	врем. параметр
	<u>Показатели выхода</u>	
	x_i^{17} - темп отгрузки МКЗ, изготовленной по заказам эксплуатантов;	переменный
	z_i^4 - запаздывание транспортировки продукции из ПП в ПЭ;	врем. параметр

В четвертой главе «Разработка метода определения потребности парка эксплуатируемой техники в материалах, комплектующих изделиях и запасных частях на основе внедрения системы технического обслуживания и ремонта изделий по состоянию» обоснован выбор стратегии эксплуатации и технического обслуживания изделий по фактическому состоянию и разработан новый метод определения потребностей изделий в МКЗ, позволяющий формировать рациональное материально-техническое снабжение парка техники в процессе эксплуатации.

Спрос на запчасти генерирует случайные возмущения на входе в ОС ЛП ЖЦ НП и является источником рассогласования темпов производства и потребления запчастей, порождая эффект «кнута». Поэтому планирование производственной программы сопряжено с необходимостью точного прогнозирования потребности в запчастях для наукоемкой продукции.

Как правило, к моменту реализации запасных частей прогнозные данные, положенные в основу производственного цикла, уже не соответствуют фактической потребности.

Особенно важным вопросом является выделение ключевых факторов, влияющих на потребность объекта техники в запчастях.

Структура потребности на запчасти определяется стратегией эксплуатации. Стратегии эксплуатации подразделяются на эксплуатацию по наработке эксплуатационного ресурса (по времени эксплуатации или по календарным срокам) и по состоянию (определяется отказом или предотказным состоянием объекта или его подсистем).

Стратегии эксплуатации изделия по наработке соответствует система планово-предупредительного ремонта (ППР). В основе ППР лежат обобщенные среднестатистические данные для идентичных видов объектов. Естественно, что назначение одинакового межремонтного периода при различном износе объектов техники приводит к совершенно неоправданному расходу материальных ресурсов. В то же время стратегия эксплуатации и ТО по состоянию на основе средств мониторинга и оперативной диагностики состояния каждого изделия позволяет учесть различные наработки и интенсивность эксплуатации, неодинаковые коэффициенты нагрузки и различный износ.

Именно стратегия эксплуатации по фактическому состоянию учитывает индивидуальность каждого объекта техники, при этом качество обслуживания техники не страдает, одновременно достигается существенная экономия средств из-за уменьшения количества простоев и техобслуживания, снижение числа отказов, максимального использования возможностей и производительности конкретного объекта.

В случае эксплуатации по ресурсу деталь подлежит замене после наработки определенного эксплуатационного ресурса, а при стратегии по состоянию – при обнаружении критического состояния детали в момент диагностики.

В соответствии с техническим заданием для каждого k -го вида продукта производитель разрабатывает комплект документов, содержащий структуру ремонтного цикла в пределах назначенного эксплуатационного ресурса P_k (виды и периодичность ТОиР), номенклатуру и количество МКЗ для проведения работ ТОиР. Структура выполнения периодических форм ТОиР в пределах назначенного ресурса P_k представлена на рис. 7.

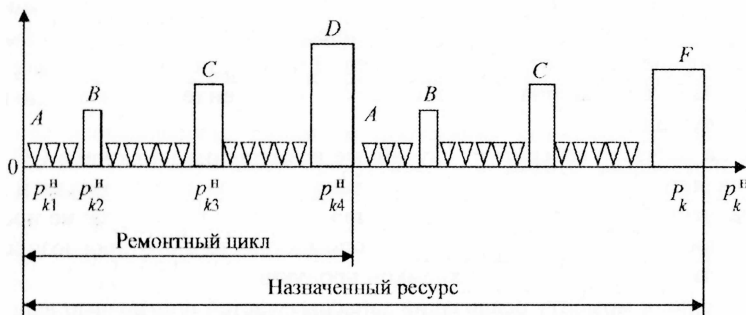


Рис. 7. Структура выполнения периодических форм ТОиР в пределах назначенного ресурса P_k

В момент времени t попадают изделия, которым необходимо провести различные ремонтные работы j -го вида в зависимости от интенсивности эксплуатации продукта l_k и наработки назначенного ресурса p_k^n .

Поэтому темп потребления МКЗ Q_i должен учитывать не только использование назначенного ресурса, но и интенсивность эксплуатации.

Агрегированная величина Q_i – общей потребности парка техники в МКЗ i -го вида, зависящей от наработки и интенсивности эксплуатации – рассчитывается следующим образом:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \sum_{\kappa=1}^K b_{ij\kappa} \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{l_k=1}^{L_k} \sum_{p_k^n=1}^{P_k} a_{kl_k p_k^n}, \quad j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \kappa = \overline{1, K},$$

где k – номер вида объекта эксплуатации; j – номер работы ремонтного цикла; i – номер вида МКЗ, необходимых для проведения j -ой работы ремонтного цикла; l_k – интенсивность эксплуатации k -го вида продукта; P_k – назначенный эксплуатационный ресурс k -го вида продукта; p_k^n – наработанный эксплуатационный ресурс k -го вида продукта; b_{ij} – расход МКЗ i -го вида для проведения ремонтных работ j -го вида по нормативу (регламентируемый структурой ТООИР); $a_{kl_k p_k^n}$ – количество продуктов k -го вида с наработанным эксплуатационным ресурсом p_k^n и с интенсивностью эксплуатации l_k .

Левая часть произведения $\sum_{j=1}^n \sum_{\kappa=1}^K b_{ij\kappa}$ определяет потребность в МКЗ, порождаемую регламентом, т. е. общий нормативный расход МКЗ i -го вида для проведения ремонтной работы j -го вида по всему парку эксплуатируемых изделий вида κ .

Практическое значение для управления производством имеет значение фактической потребности (в режиме реального времени), для чего в правой части произведения выражения введен множитель $\sum_{k=1}^K \sum_{l_k=1}^{L_k} \sum_{p_k^n=1}^{P_k} a_{kl_k p_k^n}$, представляющий общий парк изделий всех K видов, $k = \overline{1, K}$, эксплуатируемых с наработкой p_k^n и интенсивностью использования l_k .

В общем случае программа выпуска i -ого вида МКЗ Q_{i0} (шт.) в начальный момент времени t_0 должна учитывать производственную программу a_k завода по k -му виду продукции и выпуск МКЗ в объеме p_{ir} , необходимого для проведения ТООИР, и рассчитывается следующим образом:

$$Q_{i_0} = p_{ir} + \sum_{k=1}^K a_k \varepsilon_{ki},$$

где a_k – количество продукции k -го вида; ε_{ki} – применяемость i -ого вида МКЗ в k -ом продукте; p_{ir} – программа выпуска i -ого вида МКЗ россыпью.

В целях минимизации запасов МКЗ объем выпуска россыпи p_{ir_0} в момент t_0 рассчитывается, исходя из потребности в этих деталях без учета наработанного изделием эксплуатационного ресурса и интенсивности эксплуатации, т. е. исходя из нормативного расхода МКЗ для проведения первой ремонтной работы b_{ik} :

$$p_{ir} = \sum_{k=1}^K b_{ik} a_k.$$

Эти данные служат для определения величины фактического запаса i -ого вида МКЗ на складе завода в момент t_0 .

Разработанный метод определения потребности в МКЗ для парка техники объединяет с одной стороны, структуру ремонтного цикла (регламенты, периодичность ремонтных работ, нормативы расхода МКЗ), и, с другой стороны, мониторинг выработки назначенного ресурса и интенсивности эксплуатации в режиме реального времени индивидуально для каждого изделия.

В пятой главе «Разработка организационной системы ЛП ЖЦ НП» разрабатываются экономико-математическая модели и алгоритмы управления, отражающие ключевые процессы и участников ОС ЛП ЖЦ НП: подсистемы производства (ПП) и эксплуатации продукции (ПЭ), процессы материально-технического снабжения производства, управления персоналом и финансово-экономический блок. Модели представляет собой систему из 60 конечно-разностных уравнений.

Потребность в МКЗ (соответствует спросу v^1) Q_i с учетом фактической наработки является входным экзогенным параметром в модель ОС ЛП ЖЦ. Это позволяет воспроизвести динамику процессов ЖЦ в ответ на изменившиеся условия эксплуатации объекта, т.е. исследовать реактивность системы.

В связи с принципом сжатого изложения результатов диссертационного исследования в автореферате представлена фрагмент алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП: блок-схема алгоритма управления подсистемой эксплуатации (ПЭ) (рис.8) и блок-схема алгоритма управления подсистемой производства (ПП) (рис. 9-11). Блок-схемы отражают внутреннее взаимодействие процессов ЖЦ в потоковой структуре системы ОС ЛП ЖЦ НП.

Модель подсистемы эксплуатации отражает динамику выполнения заказа эксплуатанта изделия на поставку МКЗ, описывает движение информационных и материальных потоков с учетом соответствующих запаздываний, регулирует фактический запас МКЗ на складе.

При построении **модели подсистемы производства** принимается, что процесс производства состоит из двух ключевых процессов: на первом определяется темп запуска изделий в производство, на втором этапе рассматривается незавершенное производство и определяется темп выпуска готовой продукции.

Деятельность производственных переделов этапа производства представлена двумя потоками: поток продукции для пополнения собственных запасов и поток продукции для удовлетворения требований подсистемы сбыта.

Первый процесс этапа производства предусматривается предотвращение появления избыточной продукции на складах предприятия через управление потоком производственных заказов и управлением темпом запуска в производство продукции.

Второй процесс этапа производства определяет материальный поток готовой продукции с предприятия, рассчитываемый как сумма двух потоков: поток продукции, изготовленной по заказам покупателей, с учетом производственного запаздывания и поток продукции, отгружаемый со складов предприятия с учетом запаздывания отгрузки.

Разработанные алгоритмы ПЭ и ПП описывают замкнутый контур обратной связи, образующийся в процессе взаимодействия материальных и информационных потоков, связывающих процессы производства МКЗ и эксплуатации объектов техники. Данный контур включает три главных элемента: поток заказов на ПП на поставку МКЗ по информационному каналу (канал соединяет блоки 8 и 15), готовая продукция по каналам материального потока из ПП в ПЭ (канал соединяет блоки 37 и 12), запаздывание сообщений о предстоящих поставках МКЗ с производства по каналам информационной связи (блоки 40 и 6).

При моделировании процесса снабжения материалами было предусмотрено предотвращение вложения финансовых средств в закупку сырья и материалов, идущих на производство невостребованной продукции, в конечном итоге – избыточных запасов. Так как динамика потока заказов эксплуатантов техники влияет на колебания темпа производства МКЗ, который, в свою очередь, тесно связан с проблемой обеспечения квалифицированным персоналом и регулированием его численности, в динамическую модель предприятия входит разработка алгоритма **управления потоком трудовых ресурсов**.

Длительности запаздываний, образующихся во всех процессах ЖЦ, время регулирования информации, запасов материалов и готовой продукции, характеризуют инерционные свойства и обуславливают скорость реакции ОС ЛП ЖЦ НП на изменения внешней среды.

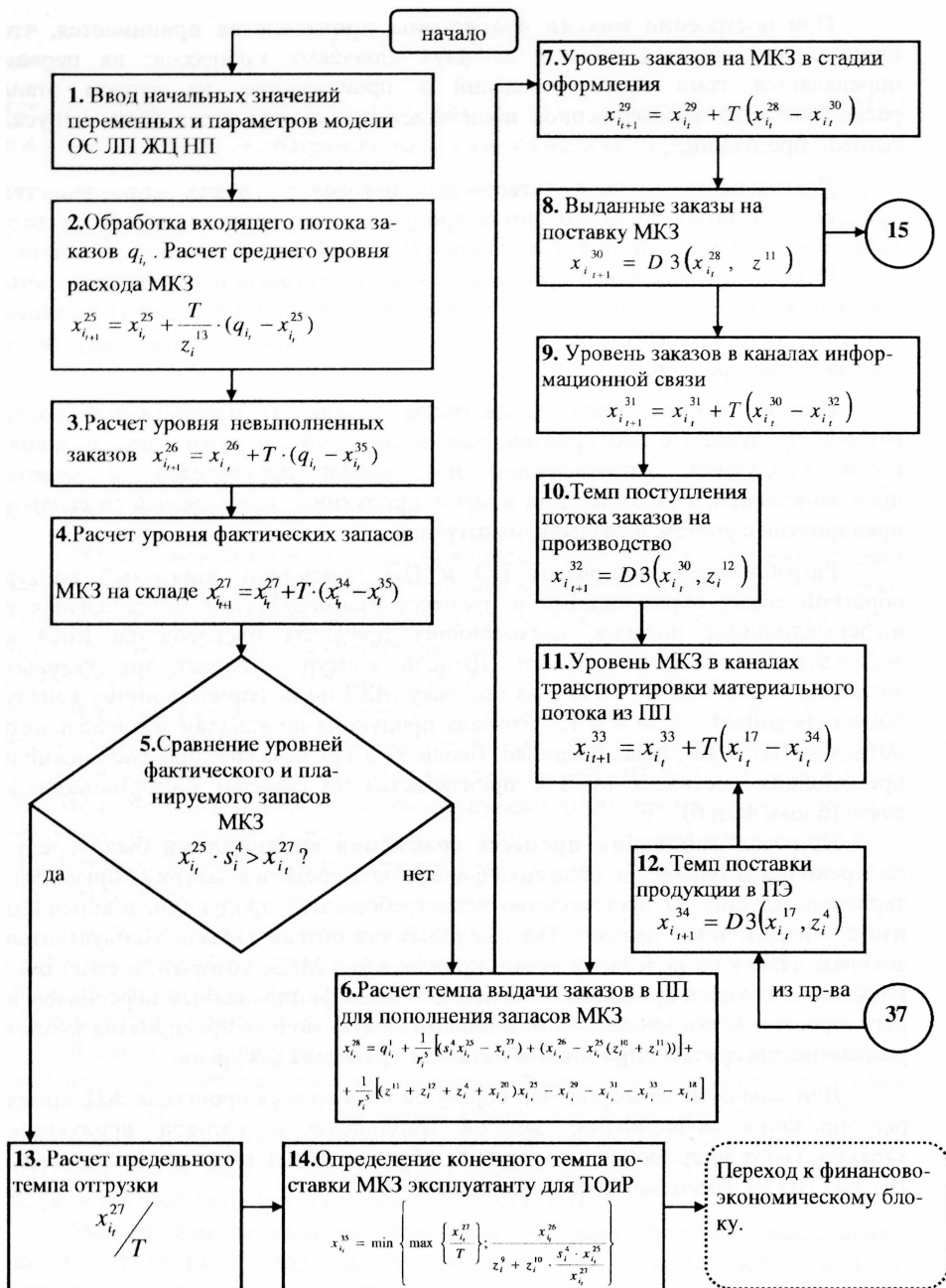


Рис. 8. Фрагмент алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП. Блок-схема алгоритма управления подсистемой эксплуатации (ПЭ)

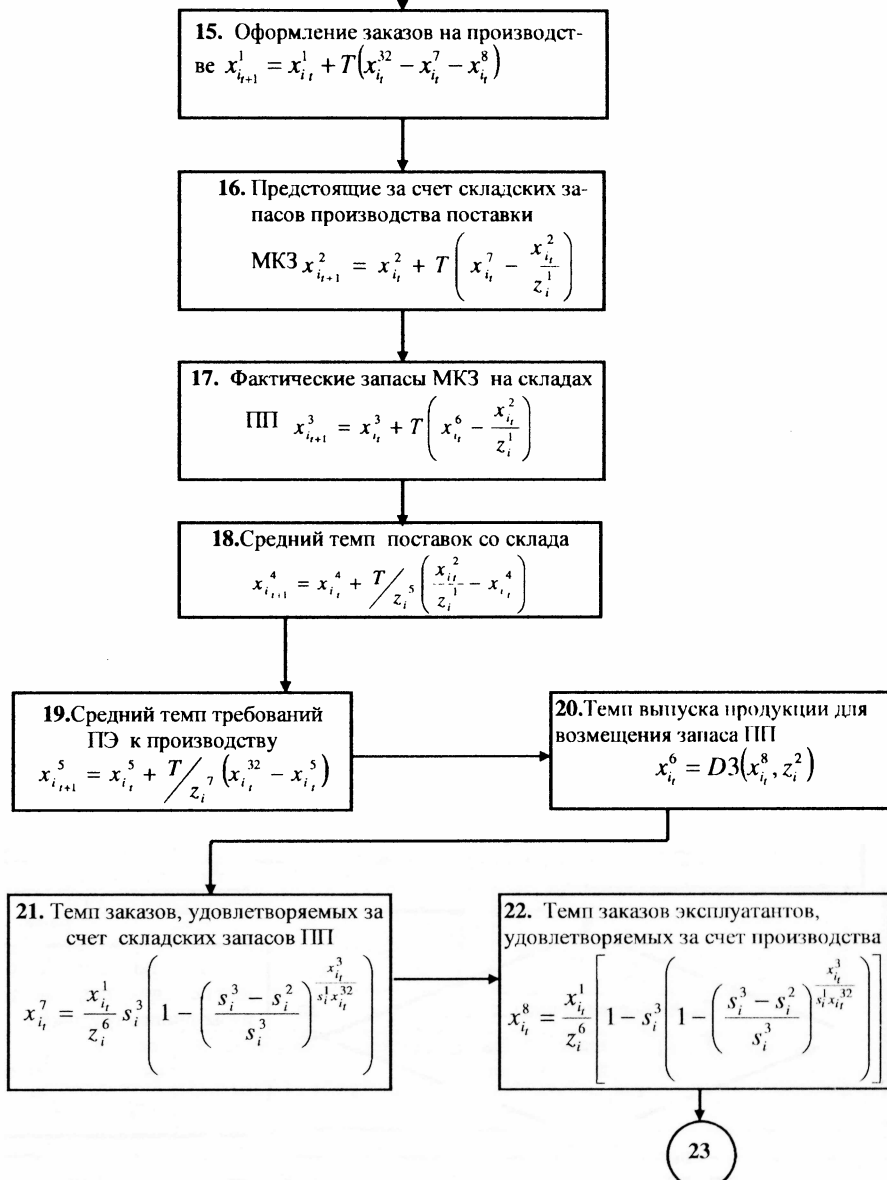
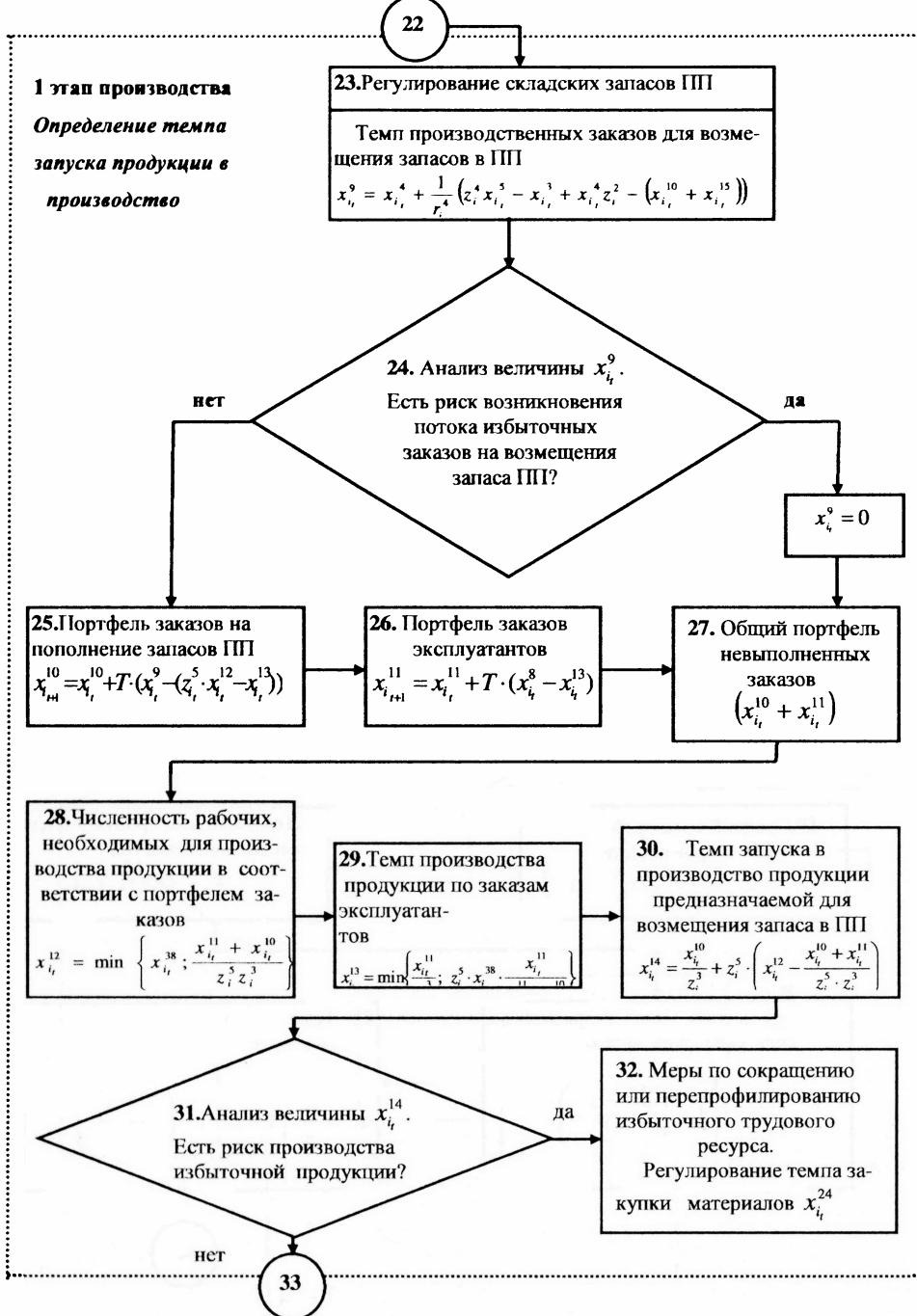


Рис. 9. Фрагмент алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП. Блок-схема управления подсистемой производства (ПП)



24 Рис.10. Фрагмент алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП. Блок-схема управления подсистемой производства (ПП) (продолжение)

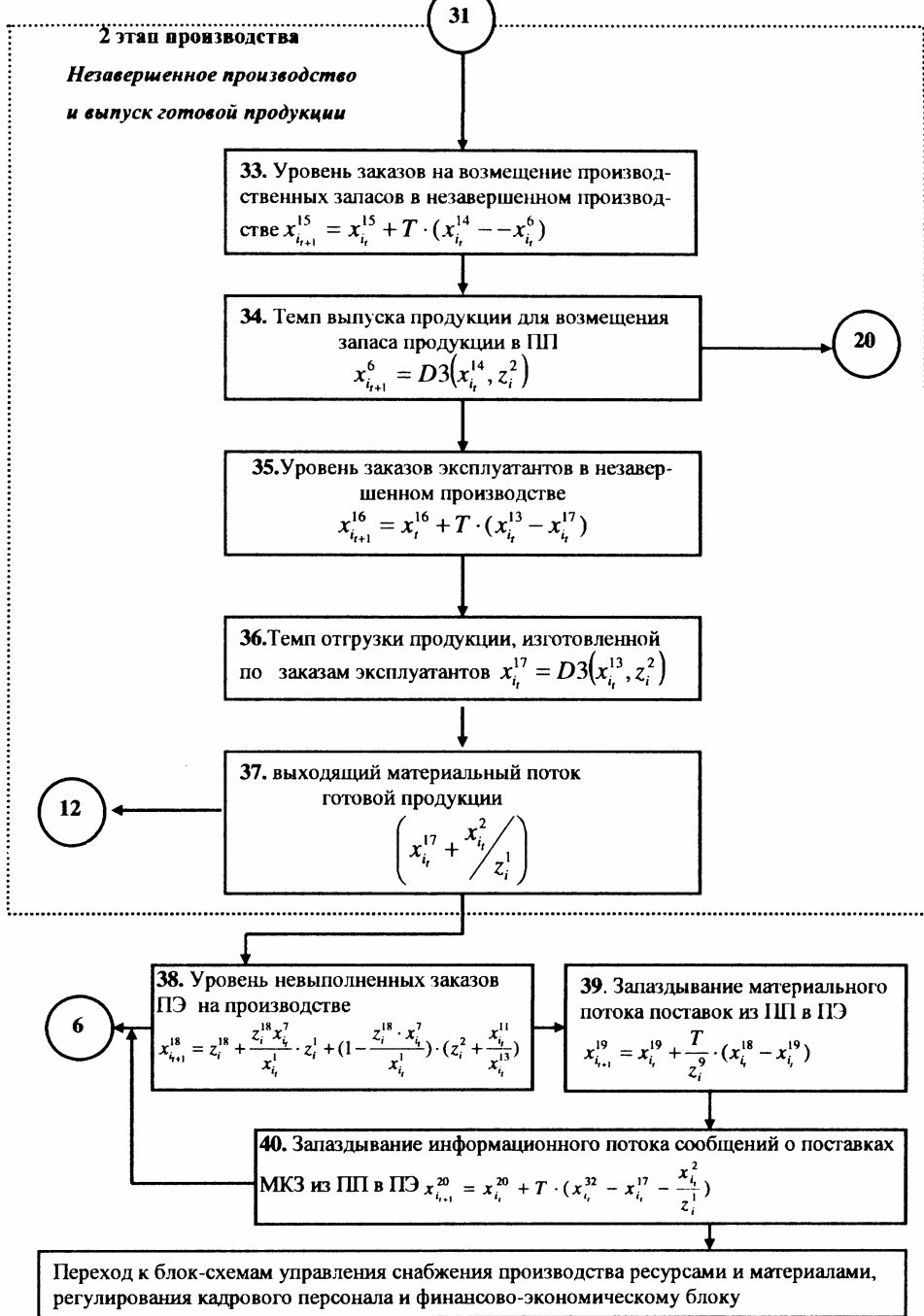


Рис. 11. Фрагмент алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП. Блок-схема управления подсистемой производства (ПП) (окончание)

Разработанная модель ОС ЛП ЖЦ НП является динамической имитационной моделью; результаты проигрывания представлены на рис. 12.

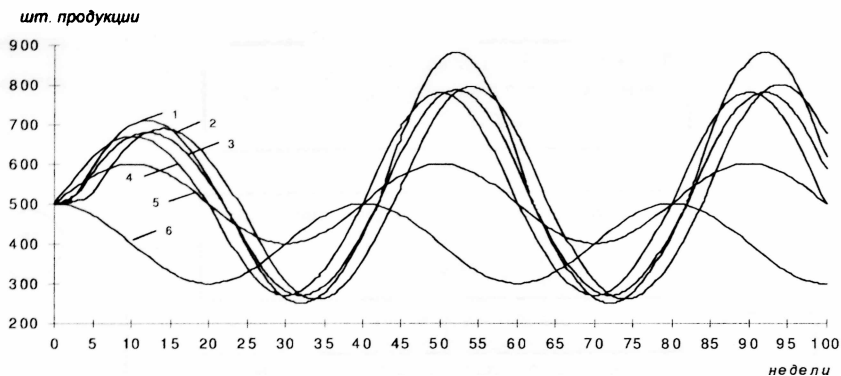


Рис. 12. Реакция ОС ЛП ЖЦ НП (распространение сигнала в системе) на 20% изменение потребности эксплуатантов объектов техники в МКЗ:

1 - уровень заказов эксплуатантов на отгрузку МКЗ, невыполненных в ПЭ; 2 - уровень заказов на поставку МКЗ, находящихся в оформлении в ПП; 3 - выданные ПЭ заказы на поставку МКЗ с производства; 4 - уровень заказов в оформлении в ПЭ; 5 - потребность эксплуатанта техники в МКЗ; 6 - уровень фактических запасов МКЗ на складах ПЭ

В шестой главе «Построение функциональной модели процесса внедрения организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции» изложены основы проектирования функциональной модели ОС ЛП ЖЦ НП на этапе эксплуатации с использованием стандарта IDEF0 и предложена организационная структура ОС ЛП ЖЦ НП.

Для реализации разработанных алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП, учитывающих фактическую наработку и интенсивность эксплуатации изделий, была построена схема МТО парка техники в режиме реального времени (рис.13).

Информация о моменте отказа изделия в реальном времени поступает в информационно-аналитическую систему эксплуатанта, затем обрабатывается в центре (управляющем модуле) ОС ЛП ЖЦ НП, далее идет поток заказов в производство и программа выпуска/поставки МКЗ постоянно корректируется в соответствии с фактической потребностью в них объектов техники.

Схема МТО легла в основу построения схемы потокового взаимодействия, отражающей движение информационных потоков в ОС ЛП ЖЦ НП и представленной на рис.14. Для наглядности на данной схеме в соответствии с таблицей показателей подписаны переменные, соответствующие темпам и уровням информационных и материальных потоков в системе.

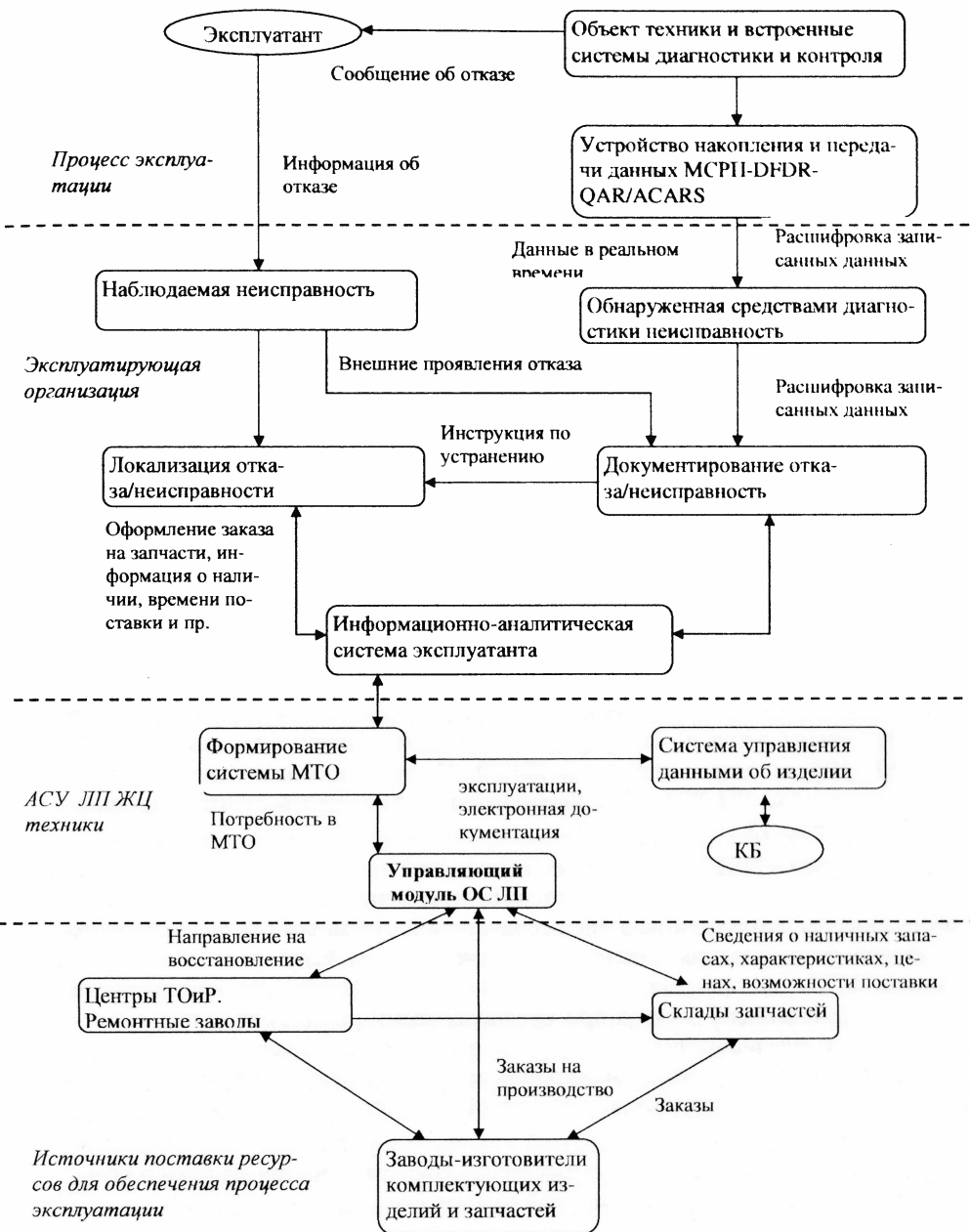


Рис. 13. Схема МТО объекта техники в реальном времени

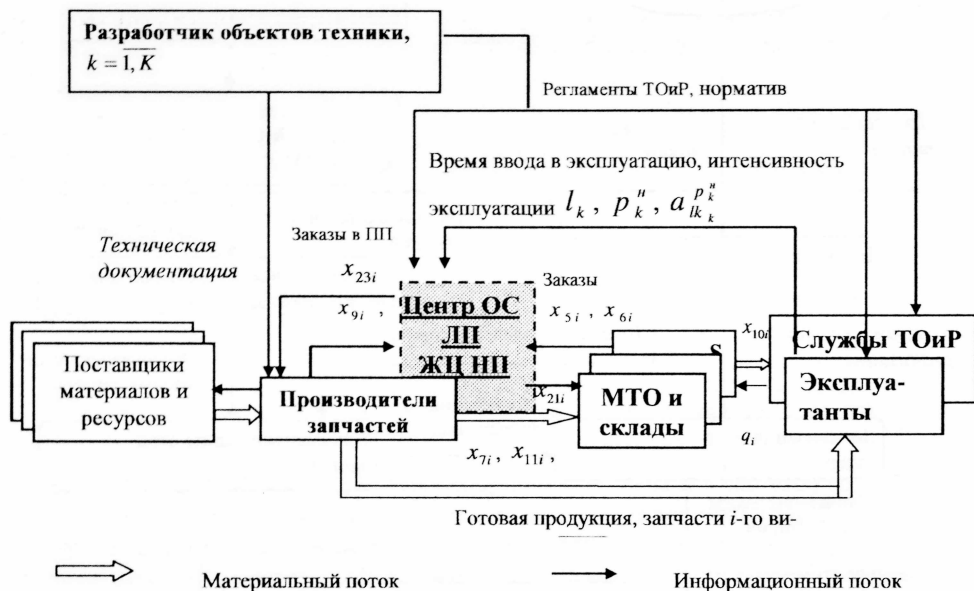


Рис. 14. Схема взаимодействия потоков в организационной системе ЛП ЖЦ НП

Эти схемы легли в основу разработанных функциональных моделей ОС ЛП ЖЦ НП на основе стандарта IDEF0. Контекстной является диаграмма «Управление ОС ЛП ЖЦ НП». Декомпозиция контекстной диаграммы представлена на рис. 15.

Создание ОС ЛП ЖЦ НП на основе информации о фактическом состоянии объектов техники позволяет перейти к прогрессивным формам технического обслуживания продукции на этапе эксплуатации, отказаться от существующих подходов формирования системы МТО парка техники, ведущих к избыточным запасам МКЗ для проведения ремонтных работ (на основе прогнозирования расхода назначенного ресурса при предполагаемых режимах и условиях эксплуатации и планирования потребностей в МКЗ по всей совокупности изделий), позволит принимать рациональные решения по управлению производством МКЗ к сложной технике, а корректировать программы выпуска МКЗ в режиме реального времени.

Внедрение ОС ЛП ЖЦ НП существенно сократит простой техники и обеспечит повышение ее эксплуатационной надежности.

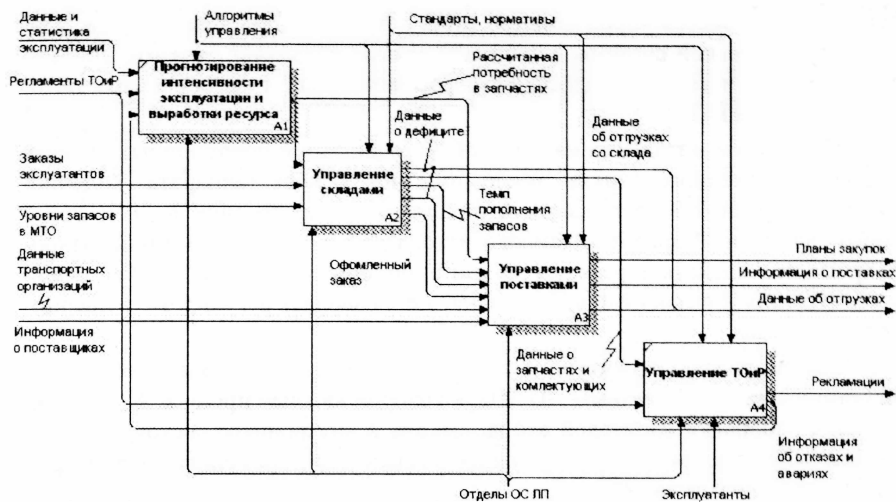


Рис. 15. Схема функциональной модели управления ОС ЛП ЖЦ НП

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследованы основные положения обеспечения надежности объектов техники на этапах жизненного цикла, выявлена сущность активного воздействия организационных мероприятий на этапе эксплуатации на основе анализа методов повышения надежности, определено понятие эксплуатационной надежности и факторы, влияющие на ее уровень.

2. Сформулирована концепция организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции (ОС ЛП ЖЦ НП) как обеспечение оптимальной временной и пространственной организации процессов предприятий-участников жизненного цикла, основанной на объединении прогрессивных стратегий эксплуатации сложной техники, логистических и информационных технологий в единое информационное пространство.

ОС ЛП ЖЦ НП определена как реактивная система, обеспечивающая повышение эксплуатационной надежности НП на основе достижения высокой скорости реакции участников ЖЦ на различные воздействия внешней среды, обуславливающие изменения динамики эксплуатации объектов техники и интенсивности использования назначенного ресурса.

3. Разработаны методологические основы построения организационной системы логистической поддержки жизненного цикла промышленной продукции как кибернетического объекта, что позволило решить задачу интеграции процессов ЖЦ НП - производства МКЗ и эксплуатации объектов техники - в единое информационное пространство на основе целенаправленной организации прохождения сигнала в каналах информационной связи. Представление

циклического процесса «производство МКЗ – эксплуатация техники» как контура кибернетической системы с обратной связью позволяет отразить динамически изменяющиеся взаимодействия информационных и материальных потоков в ОС ЛП ЖЦ НП.

4. Предложен метод математической формализации инерционных свойств процессов жизненного цикла продукции на основе аппарата конечно-разностных уравнений, отражающий динамику их протекания в дискретные моменты времени. Разработка данного метода дает возможность минимизировать время последствия реакции организационной системы ЛП ЖЦ на внешние возмущения и различные воздействия, т.е. позволяет регулировать инерционность системы.

5. Сформированы структура и система показателей кибернетической модели организационной системы ЛП ЖЦ, в которой каждый процесс ЖЦ характеризуется набором показателей входа, выхода и внутреннего состояния с выделением управляющих и возмущающих воздействий, временных параметров регуляторов и запаздываний.

6. Обоснован подход к формированию материально-технического обеспечения процессов эксплуатации продукции в реальном режиме времени, соответствующий прогрессивной стратегии технического обслуживания сложной техники по ее фактическому состоянию

7. Разработан новый метод определения потребности в запасных частях для наукоемкой продукции, учитывающий фактическую выработку объектом техники назначенного ресурса в зависимости от условий эксплуатации.

8. Разработаны динамические модели и комплекс алгоритмов управления ОС ЛП ЖЦ НП, позволяющие синхронизировать динамику производства МКЗ и интенсивность эксплуатации объекта, обеспечивающие минимизацию запасов и оперативное поступление МКЗ в службы технического обслуживания техники.

Особенностью моделирования динамики протекания процессов ЖЦ НП на основе конечно-разностных уравнений является отражение главной характеристики реактивных систем – обусловленности настоящего состояния системы предыдущими, а также возможность уйти от недостатков управления, обусловленных невозможностью полного регламентирования всех процессов функционирования, путем оперативной корректировки управляющих воздействий в дискретные моменты времени; при этом достигается приближение к оптимальной траектории состояния системы.

9. Разработаны схемы взаимодействия информационных потоков и функциональные модели организационной системы логистической поддержки наукоемкой продукции, обеспечивающие эксплуатационную надежность сложной техники на основе эффективного взаимодействия участников жизненного цикла продукции.

10. Разработанный в диссертации комплекс моделей и алгоритмов управления процессами жизненного цикла может быть использован в качестве про-

граммного модуля информационно-управляющей системы логистической поддержки ЖЦ НП в режиме реального времени.

11. Результаты диссертационной работы легли в основу новой учебной дисциплины «Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла наукоемкой продукции».

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях

I. Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России Мин для публикации результатов диссертации на соискание ученой степени доктора наук

1. *Бром А.Е.* Принципы моделирования системы управления сбытом продукции // Известия вузов. Машиностроение. – 2003. – № 8. – С. 57–61.

2. *Бром А.Е.* Теоретические аспекты кибернетического подхода к моделированию логистической системы управления предприятием // Известия вузов. Машиностроение. – 2003. – № 10. – С. 35–39.

3. *Бром А.Е., Терентьева З.С.* Разработка динамической модели системы интегрированной логистической поддержки наукоемкой продукции на стадии эксплуатации // Вестник машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 51–60.

4. *Бром А.Е.* Разработка метода определения потребности в запасных частях наукоемкой продукции на этапе эксплуатации // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 3. – С. 61–66.

5. *Бром А.Е.* Управление цепями поставок и глобальная логистика // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 4. – С. 68–76.

6. *Бром А.Е., Ванюжин А.В.* Разработка метода выбора системы снабжения запасными частями для технологического оборудования машиностроительного производства // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 8. – С. 70–78.

7. *Бром А.Е.* Синхронизация потоков – инструмент управления цепями поставок // Логистика. – 2007. – № 4. – С. 14–16.

8. *Бром А.Е.* Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия // Технология машиностроения. – 2007. – № 12. – С. 70–77.

9. *Бром А.Е.* Об интегрированной логистической поддержке жизненного цикла наукоемкой продукции // Логистика. – 2008. – № 1. – С. 16–20.

10. *Бром А.Е., Александров А.А.* Разработка экономико-математической модели интеграции участников и процессов жизненного цикла наукоемкой продукции в систему логистической поддержки // Известия вузов. Машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 73–92.

11. *Бром А.Е., Александров А.А.* Специфика структуры, длительности и учета затрат жизненного цикла наукоемкой продукции // Известия вузов. Машиностроение. – 2008. – № 4. – С. 65–80.

12. *Бром А.Е.* Сравнительный анализ стратегий эксплуатации и технического обслуживания сложных технических систем // Известия вузов. Машиностроение. – 2009. – № 4. – С. 71–78.

13. *Бром А.Е.* Перспективные предпосылки создания системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции // Известия вузов. Машиностроение. – 2009. – № 5. – С. 70–75.

II. Статьи в других изданиях

14. *Бром А.Е.* Логистическая поддержка эксплуатационной надежности наукоемкой продукции // *Машиностроитель*. – 2007. – № 9. – С. 7–10.

15. *Бром А.Е.* Информационные логистические системы как основа инновационных подходов к управлению жизненным циклом сложной техники // *Управление инновациями* – 2007: Матер. междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. Р.М. Нижегородцева. – М.: Доброе слово, ИПУ РАН, 2007. – С. 116–119.

16. *Бром А.Е.* Основы разработки эффективной автоматизированной системы управления жизненным циклом сложной техники // *Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: Сб. тр. V междунар. науч.-практ. конф.* / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 408–409.

17. *Бром А.Е., Шатохина О.О.* Концептуальный подход к определению надежности логистической системы // *Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 1: Матер. IX всерос. симп.* / Под ред. Г.Б. Клейнера. – М.: ЦЭМИ РАН, 2008. – С. 38–39.

18. *Бром А.Е.* Синхронизация потоковых процессов в цепях управления поставками // *Эффективная логистика: Сб. ст. II всерос. науч.-практ. конф.* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 57–62.

III. Монографии

19. Методология планирования инновационного развития экономических систем: Монография / Н.Н. Арлашкина, А.В. Бабкин, А.Е. Бром и др.; Под ред. А.В. Бабкина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 772 с.

20. *Бром А.Е.* Методология, методы и модели управления организационно-логистической системой поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции: Монография / Под ред. А.А. Колобова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 240 с.

IV. Учебно-методические издания

21. *Бром А.Е., Курсин Д.А., Терентьева З.С.* Интегрированная логистическая поддержка наукоемкой продукции: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 96 с.

22. *Бром А.Е., Колобов А.А., Омельченко И.Н.* Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла наукоемкой продукции: Учебник / Под ред. А.А. Колобова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 296 с.

Подписано к печати 2.09.09. Заказ № 509
Объем 2,0 печ.л. Тираж 100 экз.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5
(499) 263-62-01