

УДК 519.876.2 + 65.012.34

**СИСТЕМНЫЕ МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЛОГИСТИКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ***О.Е. Федорович, д-р техн. наук, А.В. Прохоров, А.С. Садовничий**Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*

Описаны системный подход к формированию знаниеориентированной модели анализа процессов управления в распределенных технологических комплексах с позиций промышленной логистики.

\* \* \*

Описуються системний підхід до формування знанняорієнтованої моделі аналізу процесів управління в розподілених технологічних комплексах з позицій промислової логістики.

\* \* \*

The approach to creation of knowledge frame-based model for analysis of control processes of distributed technological complexes in view of manufacturing logistics.

**Введение**

Экономические преобразования, происходящие в Украине в связи с переходом к рыночным отношениям, привели к качественным изменениям в производственной сфере и потребовали формирования новых подходов к управлению предприятиями и технологическими комплексами, которые являются сложными автоматизированными многоуровневыми распределенными системами (МРС). Первоочередное значение приобретает проблема устойчивого управления функционированием и развитием МРС, их адаптации к изменяющимся условиям рынка, что в свою очередь проявляется в необходимости проведения реструктуризации и модернизации существующих производств, создании интегрированных МРС, комплексной автоматизации, построении многоуровневых АСУ и инструментальных средств поддержки принятия решений.

При этом МРС необходимо рассматривать как сложные системы высокой степени интеграции, имеющие ряд особенностей, которые оказывают существенное влияние на выбор и обоснование методов их исследования: многомерность; иерархичность; многоуровневость; множество структурно-компоновочных решений; динамичность; распределенность в пространстве и времени; многоцелевой

характер функционирования; неопределенность различной природы; вероятностный характер функционирования.

Для исследования МРС в данной работе предлагается использовать сравнительно новое научное направление - промышленная логистика. Концепция логистического анализа МРС предполагает интегральное потоковое представление всех процессов, протекающих в системе в целях выявления законов функционирования и развития, а также вариантов управления материальными и информационными потоками на всех уровнях.

В настоящее время вопросам логистики посвящено достаточно много зарубежной и отечественной литературы [1,2]. Однако четких методов и моделей, которые бы позволили провести анализ всех процессов одновременно и в динамике, по результатам которого можно было бы принимать решения по управлению МРС, не приводится.

**Концепция логистического анализа МРС**

Предлагаемая концепция логистического анализа предполагает ряд взаимосвязанных этапов (рис. 1), конечной целью которых является логистическое управление (ЛУ) МРС. Один из ключевых этапов логистического анализа - системный анализ МРС.

Системный подход является методологической основой сквозного управления потоковыми процессами и применительно к исследованию МРС реализуется в создании интегрированных логистических систем (ЛС).

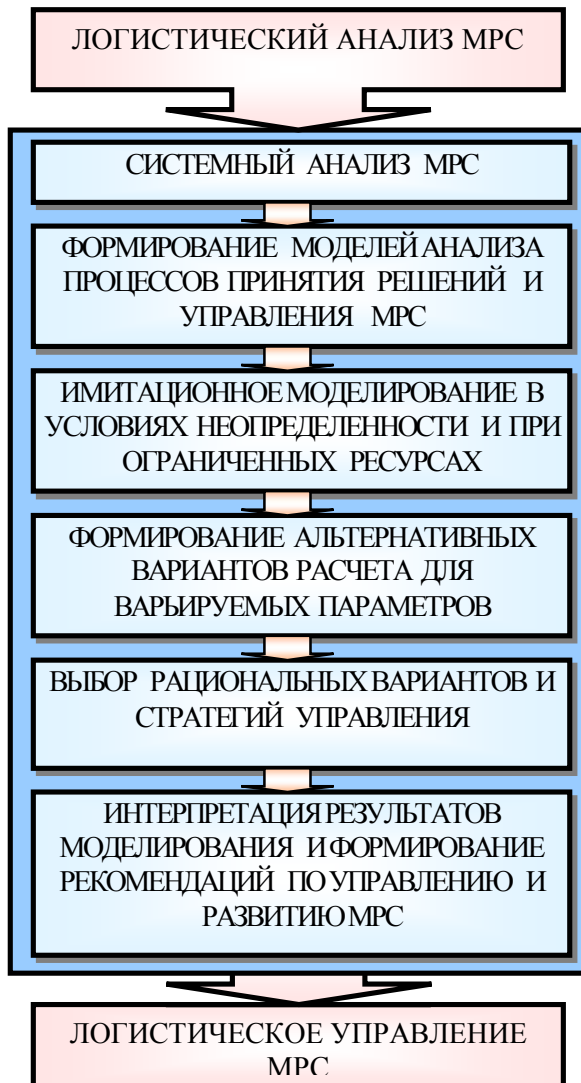


Рис. 1. Концепция логистического анализа МРС

Объединение всех необходимых элементов ЛС (от материально-технического снабжения и производства к распределению и поставке готовой продукции потребителям) как взаимосвязанных и взаимодействующих для достижения глобальной цели управления представляет собой полную интеграцию производства, причем в качестве интегратора выступает материальный поток.

Основная особенность здесь состоит в том, что процесс интеграции охватывает всю логистическую цепочку и динамическую внешнюю среду, распро-

страняясь на все предприятия МРС, производственные подразделения предприятий (цеха, участки), логистических посредников и т.д. Модельный метод анализа целесообразен для формализованного описания МРС, содержащего представления объектов ЛС, а также свойств и связей этих объектов.

#### Разработка системных моделей МРС

Формирование многоуровневой системной (сетевой) модели (СМ) анализа МРС осуществляется по следующим взаимосвязанным уровням (стратам) представления: целевому, функциональному, алгоритмическому, организационному и информационному с учетом всех основных функциональных подсистем логистики МРС: закупочной, распределительной (сбыта), производственной, складской и транспортной. Концепция формирования СМ МРС заключается в последовательном накоплении знаний при переходе по стратам представления МРС.

На основе проведенной системной структуризации объекта исследования и принципов декомпозиции и стратификации разработан комплекс СМ МРС: СЦМ – сетевая целевая модель; СФМ – сетевая функциональная модель; САМ – сетевая алгоритмическая модель; СМОС – сетевая модель организационной структуры (ОС); СМУ – сетевая модель управления. Каждая из СМ разработана на основе теории категорий [3] и представляет собой «И-ИЛИ» граф (рис. 2), в котором представлены конъюнктивные (обозначены кружочками) и дизъюнктивные (обозначены прямоугольниками) вершины.

С точки зрения категорного подхода вершины СМ представляют собой физические или информационные (абстрактные) объекты (цели и подцели, задачи и подзадачи и т.д.). Дуги СМ отражают причинно-следственные связи (включение, подчинение, предшествование и т.п.) и характеризуют отображения (морфизмы) одних объектов в другие. Для каждой логистической функциональной подсистемы были определены основные объекты (цели, задачи,

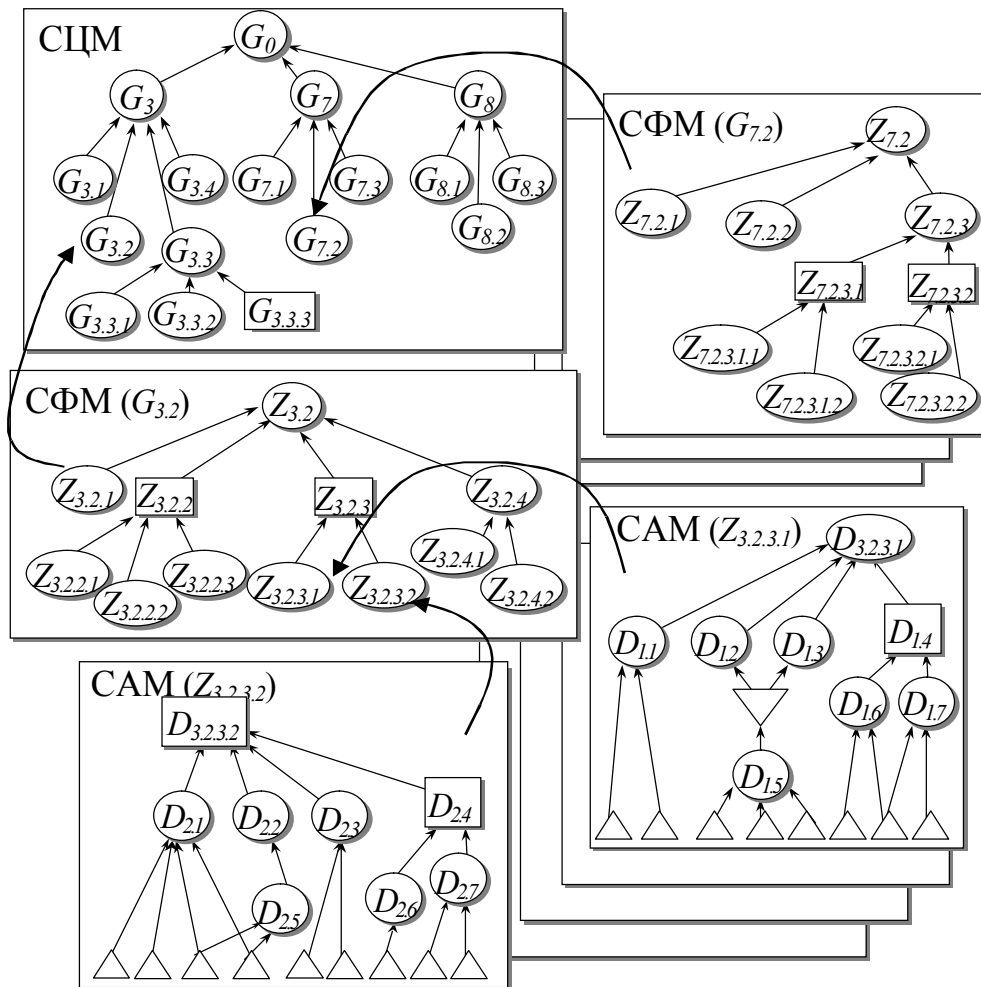


Рис. 2. Фрагменты СЦМ, СФМ и САМ и их взаимосвязи

параметры, свойства и др.), а также основные показатели и стратегии логистических процессов. Взаимосвязь сетевых моделей обеспечивается посредством строгих отображений объектов нижестоящих уровней в соответствующие объекты стоящего выше уровня. Этим достигается формирование многоуровневой общей СМ МРС. При этом объекты каждого уровня могут иметь вложенные структуры.

СЦМ представляет собой совокупность целей МРС, объединенных единством глобальной цели и общими ресурсами. Глобальной целью логистического управления МРС является обеспечение производства и доставки товаров и изделий в заданное место, в заданный срок, в требуемом количестве и ассортименте, в максимально возможной степени подготовленных к личному или производственному потреблению при заданном уровне издержек. Основная

задача, которая должна быть решена на этом этапе, - это ликвидация несоответствий и противоречий между интересами и целями всей ЛС и ее отдельных элементов. СФМ представляет собой совокупность и последовательность задач, которые необходимо выполнить для достижения поставленных целей. Основой для построения системной функциональной модели (СФМ) служит СЦМ МРС. Весь комплекс задач решается в рамках логистической стратегии оптимизации управления материальными и сопутствующими им информационными потоками с точки зрения: минимизации уровней запасов; оптимизации работы транспортно-складского комплекса; сокращения времени производственно-технологического цикла; уменьшения всех логистических издержек в производстве и др.

Исследование динамики функционирования

МРС невозможно без формирования системного алгоритмического представления. САМ отображает последовательность операций, действий или процессов, которые необходимо выполнить для решения конкретной функциональной задачи.

САМ разрабатываются в соответствии с СФМ для каждой из задач нижнего уровня и могут иметь декларативное представление в виде сетевой модели или процедурное представление в виде программных модулей.

Дополнительными элементами САМ являются начальные условия или состояния физической реальности и объектов (обозначены треугольниками), т.е. представляют собой исходные данные, необходимые для решения задач. Кроме того, для действий или процессов, которые могут заканчиваться возможными альтернативными результатами, предусмотрены разветвители (обозначены перевернутыми треугольниками). Такие разветвители позволяют учитывать неопределенный результат действий (процессов), в том числе связанный с возможными случайными или зависимыми от других систем факторами, путем введения дополнительных действий в случае неблагоприятных результатов. Это позволяет учесть множество альтернативных действий или решений, т.е. адаптировать структуру САМ к конкретным условиям реальности.

Каждый из процессов в свою очередь может представляться в виде сетевой алгоритмической модели подпроцессов или действий, характеризующих динамику его развития и т.д. Таким образом, САМ имеет многоуровневое представление, состоящее из множества вложенных САМ.

ОС МРС - это иерархическая распределенная структура исполнителей, задействованных в решении поставленных задач. Поэтому ОС можно представить в виде СМОС, показанной на рис. 3. При решении конкретных задач в соответствии с СФМ и САМ из СМОС будет выделяться необходимая ее часть (фрагмент), т.е. те исполнители, которые мо-

гут выполнять требуемые действия, операции (роли). Следовательно, СМОС накладывает ограничения на реализацию САМ в конкретных условиях и этапах функционирования МРС. СМОС, прежде всего, отражает отношения подчиненности, т.е. вертикальные связи. При реализации задач согласования, т.е. горизонтальных связей, вводятся узлы согласования (заштрихованы на рис. 3), поэтому СМОС будет иметь однородную структуру лишь с вертикальными связями.

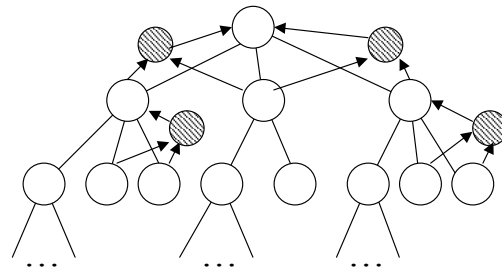


Рис. 3. Системная сетевая модель ОС МРС

Сложность ОС МРС обуславливает непростой характер и многообразие координационной деятельности: организационная, технологическая, производственная, экономическая, маркетинговая, ресурсная координации. В процессе функционирования МРС возникает необходимость реализации сложного комплекса задач управления. Поэтому, кроме иерархии подчиненности для ОС МРС, необходимо описать информационное представление процессов управления МРС. Рассматривая решение каждой задачи из СФМ на элементах СМОС, исследуют информационные потоки с их характеристиками, при этом ОС доопределяется информационными каналами связи, необходимыми для осуществления информационного обмена в процессе достижения поставленных целей и задач. Таким образом, возникает необходимость анализа процессов управления, протекающих в ОС МРС, чтобы регламентировать обмен информацией между ее элементами и обеспечить требуемое качество принимаемых управленческих решений.

Реализация наиболее сложной сетевой модели управления МРС осуществляется на основе СМОС и

алгоритмов взаємодія логістических звеньев по інформаційним потокам ЛС. Для учета механізмів управління в процесі досягнення цілей необхідно для кожної функціональної задачі определити узел - инициатор ее решения, узел, осуществляющий ее решение, и контур управления, т.е. цепочку узлов, взаимодействие которых обеспечивается реализацией сценария или протокола управления. Для формализации отношения узлов структуры и задач системы предлагается ввести следующую классификацию ролей узла управляющей структуры по отношению к задаче:  $I(n_i, z_k)$  – узел  $n_i$  является инициатором задачи  $z_k$ ;  $C(n_i, z_k)$  – узел  $n_i$  является координатором решения задачи  $z_k$ ;  $M(n_i, z_k)$  – узел  $n_i$  является руководителем решения задачи  $z_k$ ;  $E(n_i, z_k)$  – узел  $n_i$  является непосредственным исполнителем задачи  $z_k$ ;  $B(n_i, z_k)$  – узел  $n_i$  является посредником при решении задачи  $z_k$ . От роли узла структуры управления по отношению к задаче будут зависеть действия, выполняемые им при решении задачи, а значит, и процессы управления, протекающие в системе.

Под обобщенным сценарием или протоколом управления будем понимать описание последовательности действий, выполняемых руководителем и подчиненным, а также правила их взаимодействия в рамках рассматриваемого процесса управления для решения поставленной задачи. Очевидно, что вид протокола управления будет зависеть от задачи, в процессе решения которой он используется, и от ролей узлов относительно решаемой задачи. Взаимодействие узлов ОС МРС проходит в несколько взаимосвязанных этапов и носит повторяющийся циклический характер: подготовка управляющих решений (ПУР), подготовка ответа (ПО), информационный обмен (ИО), ожидание решения (ОР), исполнение задачи (ИЗ), подготовка ответа на задачу (ПОЗ), анализ и принятие решения (АПР) (рис. 4).

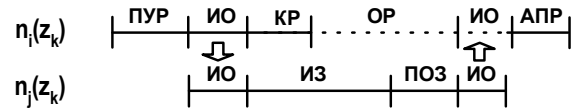


Рис. 4. Базовый протокол взаимодействия узлов ОС

В общем случае процесс управления решением задачи может осуществляться по более сложному контуру управления (кроме того, в определенных ситуациях управления в сценариях взаимодействия могут отсутствовать некоторые элементы), в котором задействовано некоторое число посредников. При этом возникают вложенные алгоритмы.

Таким образом, формирование общей СМ МРС позволяет: формализовано описать процессы, происходящие в МРС на всех уровнях иерархии; закрепить решаемые задачи за всеми элементами ОС; получить исходные данные и модели для системного имитационного моделирования динамики функционирования МРС с учетом всего множества задач, решаемых в системе.

### Системное имитационное моделирование МРС

Основными этапами при формировании системной имитационной модели МРС являются структуризация и формализация.

Разработанная концепция формализации, основанная на многозначной логике присутствия [4], которая обеспечивает универсальность представления объектов, процессов и задач моделирования МРС, предоставляет возможность учета неопределенностей и противоречий, а также за счет прагматической интерпретации имеет эффективный механизм управления как объектом исследования, так и самой системой моделирования.

При имитационном моделировании потоковых производственных процессов наиболее предпочтительно использование блочной концепции структуризации. Блочная концепция структуризации, наиболее полно отвечающая принципам объектно-ориентированного моделирования, предполагает описание моделируемого процесса в виде системной

комбинации блоков, выбираемых из некоторого зафиксированного, но расширяемого набора.

Задача системного имитационного моделирования МРС заключается в анализе потоковых производственных процессов в целях раскрытия закономерностей, существенных с точки зрения согласования критериев оптимизации функционирования всех элементов интегрированной ЛС и обоснованного выбора вариантов управления ими и МРС в целом.

Количество типовых блоков (элементов), применяемых для построения системных имитационных моделей МРС, выбрано минимальным, но достаточным для составления моделей МРС любой архитектуры и наиболее типичных классов процессов. Блоки собраны в универсальных и проблемно-ориентированных библиотеках.

Результаты анализа МРС формируются в процессе имитационного моделирования (их можно рассматривать как для всей системы в целом, так и для каждого структурного элемента) и включают в себя: процент выполнения производственного плана (по всей номенклатуре продукции); размеры возможных дефицитов по отдельным позициям комплектующих и продукции; срывы поставок с указанием причин их возникновения; объемы незавершенного производства; фактические времена технологических циклов изготовления продукции; составление расписаний (графиков) перемещений материальных ресурсов между узлами логистической цепи производственной системы; расчет расписания загрузки элементов производственной структуры; затраты на выполнение технологических операций; расчет логистических затрат и др.

Принятие решений по управлению МРС основывается на информации, полученной в результате исследования, и может осуществляться путем проведения следующих мероприятий: изменение характера технологических процессов с одновременной модификацией структуры МРС; изменение стратегий

управления транспортным и складским хозяйством; организация дополнительных мероприятий для обеспечения необходимой производительности и пропускной способности системы; изменение структуры материальных потоков, включая модификацию структуры поставок; изменения в ОС управления предприятием (горизонтальное и вертикальное “сжатие”, распределение управленческих и исполнительских нагрузок); выбор желательной рыночной и производственной политики предприятия (определение стратегии размещения заказов, стратегий закупок и сбыта).

Моделирование может осуществляться путем задания различных сценариев запуска модели и вариантов стратегий управления для отдельных элементов и для системы в целом. Полученные результаты моделирования по всем вариантам могут быть оценены с помощью разработанной подсистемы принятия решений по многим критериям.

### **Структуризация логистического управления МРС**

Таким образом, проведенный системный анализ ЛУ МРС позволил представить его в виде трехмерной модели (системный куб), увязывающей основные функциональные подсистемы логистики, уровни управления и объекты управления (рис. 5). Каждый сегмент этой модели представляет собой в укрупненном виде плановое задание, в рамках которого выполняются основные действия всеми участниками ЛС МРС. МРС

С помощью данной модели можно установить связи согласования по любым двум парам координат: уровни управления и функциональные подсистемы, уровни управления и объекты логистического управления, объекты логистического управления и функциональные подсистемы. Для этого из модели необходимо выделить исследуемую пару координат (рис. 6). Векторами показано направление согласования (в данном случае по уровням и по объектам логистического управления).

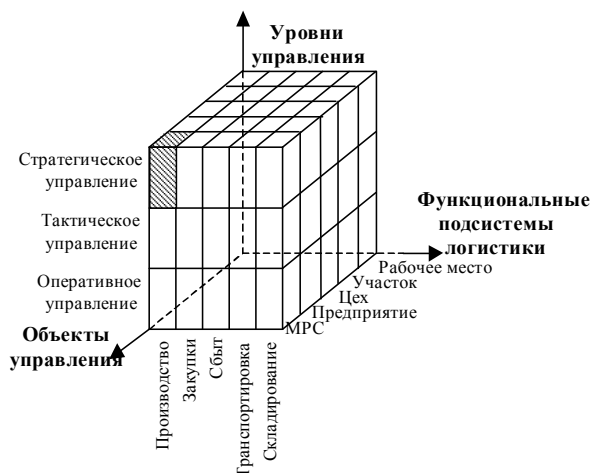


Рис. 5. Системная структуризация ЛУ

Это означает, что сначала разрабатываются стратегические планы, затем тактические и оперативные. На пересечении векторов указан вид управленческой или исполнительской деятельности. От-

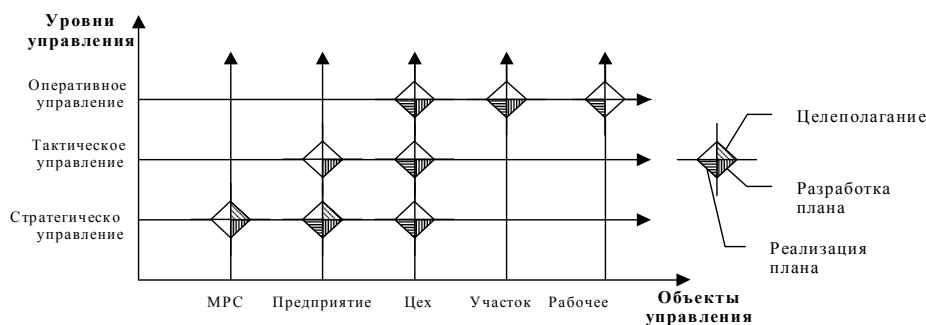


Рис. 6. Связи согласования

Настройка моделей МРС осуществляется путем визуального объектно-ориентированного моделирования, использования библиотек типовых элементов и базы знаний, содержащей модели знаний, которые описывают объекты системы, алгоритмы функционирования и задачи управления, элементы и механизмы имитационного моделирования, целевые установки, оценки результатов управления МРС.

Система имитационного моделирования обеспечивает настройку на конкретную предметную область и может быть использована на этапах проектирования, эксплуатации и развития МРС.

**Литература**

1. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе: Учебник – М.: ИНФРА-М, 2001.-608 с.  
 2. Бауэрсекс Д. Дж., Клосс Д. Дж. Логистика:

сутьствие указателей на пересечении векторов означает, что здесь прямых связей согласования не должно быть.

**Заключение**

Таким образом, в отличие от традиционного системного подхода предложена структуризация МРС по всем стратам на основе теории категорий, что обеспечивает построение единой СМ МРС на основе однозначных отображений одних объектов в другие.

Излагается концепция моделирования, основанная на систематизированном, ориентированном на конечного пользователя подходе к исследованию МРС. Это достигается путем создания универсальных и адаптируемых к изменениям внутренней и внешней среды МРС структур моделирования, основанных на моделях знаний.

интегрированная цепь поставок / Пер. с англ. –М.: Олимп-Бизнес, 2001. –674 с.

3. Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий и функторов. – Пер. с англ. –М.: Мир, 1972. – 259с.

4. Fedorovich O.E., Sadovnychiy S.N., Prohorov A.V., Sadovnychiy A.S. System models of logistics analysis of the virtual distributed technological complexes // Telecommunication and radio engineering. –2002. -Vol. 58. №7. -P.49-58.

*Поступила в редакцию 25.03.03*

**Рецензенты:** канд. техн. наук, доцент Береза А.С., ООО “Харьковский Дом науки и техники”, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор Сироджа И.Б., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.