

УДК 681.3
ББК 78.34

ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Жигульский К.В.¹

(ООО «Ангстрем», Воронеж)

Кравец О.Я.²

*(Воронежский государственный технический
университет, Воронеж)*

Соляник А.И.³

*(Воронежский филиал Академии стандартизации,
метрологии и сертификации, Воронеж)*

Описана структурная модель распределенного предприятия, основанная на проектном подходе к структурированию процессов его функционирования. Для описания модели используется разработанный предметно-ориентированный понятийный аппарат в сочетании с традиционным математическим аппаратом теории множеств и теории графов.

Ключевые слова: структурная модель, распределенное предприятие, проектный подход.

¹ Константин Владимирович Жигульский, кандидат технических наук (kzhig@gela-it.ru).

² Олег Яковлевич Кравец, доктор технических наук (ok@sbook.ru).

³ Анатолий Иванович Соляник, кандидат технических наук (asms@asms.org.ru).

1. Объекты модели

Основные объекты модели – *продукт, платформа и проект*.

Основной задачей функционирования распределенного предприятия является создание продуктов. Понятие продукта обобщает такие разнородные понятия, как произведенная продукция, выполненные работы, оказанные услуги, созданные объекты и др. Для создания продуктов предприятие потребляет (использует) ресурсы, часть из которых поступает из внешней по отношению к предприятию среды, а часть потребляется из запасов.

Продукты делятся на два типа: *new* и *mix*. К типу *new* относятся вновь создаваемые в рассматриваемом периоде продукты. К типу *mix* относятся продукты, получаемые объединением, смешиванием продуктов типа *new* одной номенклатуры между собой или с запасами (переходящими остатками), оставшимися от предыдущего периода.

Платформа есть то, посредством чего или где создается продукт (продукты); это понятие объединяет (обобщает) такие понятия, как единица технологического оборудования, структурное подразделение, предприятие в целом и т.д.

Платформы и продукты есть первичные объекты модели, а проект есть пара (платформа, продукт), где продукт, возможно, является составным набором продуктов. Далее рассматривается набор продуктов и структура платформ за период, соответствующий *периоду процесса создания продуктов*.

Пусть Q – множество платформ, P – множество продуктов, $G = P \cup Q$ – совокупность первичных объектов модели (множество платформ–продуктов). Во множестве G введем отношение частичного упорядочения $q \succ s$ (q «старше» s): если $q, s \in Q$, то это означает, что платформа s является частью платформы q , если же $q \in Q, s \in P$, то $q \succ s$ означает, что продукт s производится на платформе q ; в остальных случаях отношение не определено. Ясно, что в G существует наибольший элемент k , пред-

ставляющий всю систему. Поскольку множество G конечно, для любого $g \neq k$ существует непосредственный предок, т.е. такой элемент $q = \text{pred}(g)$, что, во-первых, $q \succ g$, а во-вторых, не существует такого s , что $q \succ s \succ g$. Если $g \in P$, то $\text{pred}(g)$ есть платформа, на которой непосредственно производится продукт g ; такую платформу назовем производящей платформой продукта g .

Кроме *структурного отношения* частичного упорядочения между объектами модели определяется *отношение потребления*: если $p \in P$, $g \in G$, то отношение $p \rightarrow g$ означает, что продукт p потребляется (целиком или частично) продуктом или платформой g .

Набор $\Omega = (Q, P, \succ, \rightarrow)$ назовем *схемой модели*, поскольку этот набор полностью определяет объекты модели и связи между ними, но не отражает содержательную информацию, связанную с этими объектами.

Схема модели может быть представлена в форме *графа модели* – ориентированного графа Γ (рис. 1), определяемого следующим образом: элементы множества G , связанные дугами $(\text{pred}(g), g)$, образуют *дерево платформ-продуктов* T_{QP} , которое дополняется дугами-прошивками, связывающими узлы, находящиеся в отношении $p \rightarrow g$.

Пусть $G = \{x_i\}_{i=1}^{N_P+N_Q+1}$, где N_Q есть число платформ, N_P – число продуктов, причем можно считать, что $x_i = q_i$ при $1 \leq i \leq N_Q$ и $x_i = p_{i-N_Q-1}$ при $i > N_Q$. Определим матрицу инцидентности для графа модели Γ : $A = \{a_{ij}\}_{i,j=0}^{N_P+N_Q+1}$, где $a_{ij} = 1$ если $(i < j \leq N_Q$ и $q_i = \text{pred}(q_j)$) или $(i \leq N_Q, j > N_Q$ и $q_i = \text{pred}(p_{i-N_Q-1})$), или $(i > N_Q, j \leq N_Q$ и $p_{i-N_Q-1} \rightarrow q_j)$, или $(i > N_Q, j > N_Q$ и $p_{i-N_Q-1} \rightarrow p_{j-N_Q-1})$, в остальных случаях $a_{ij} = 0$.

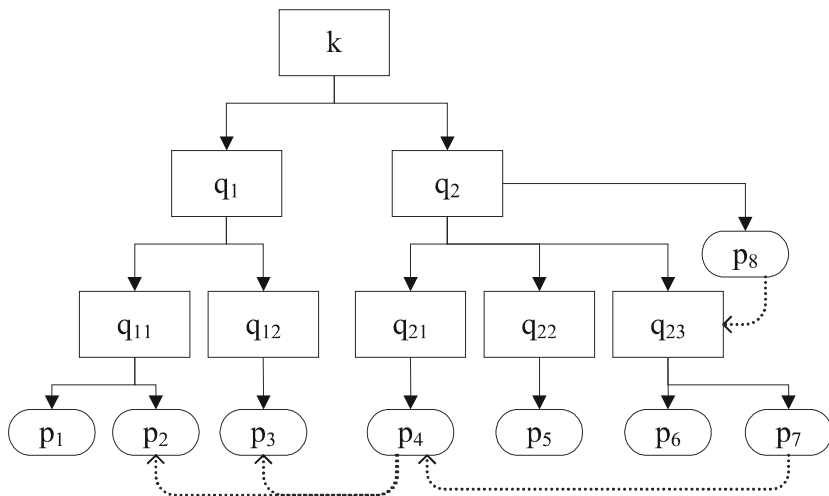


Рис. 1. Граф модели

2. Потoki модели

Карта узла есть свод всей информации, связанной с узлом. Карта узла-платформы содержит следующие характеристики: наименование (идентификатор) платформы; платформа – непосредственный предок; для корня дерева T_{QP} это «пустая» платформа Λ – специальный элемент множества Q , используемый для единообразия в ситуациях, когда платформа не существует; карта ресурсов узла.

Карта ресурсов содержит информацию о ресурсах, потребляемых платформой для обеспечения ее функционирования в рассматриваемом периоде. Карта узла-продукта содержит следующую информацию: наименование (идентификатор); номенклатура (вид продукта); производящая платформа; тип продукта; объем продукта (в количественном и/или суммовом выражении); использование продукта: список пар (потребитель, потребляемый объем); сопутствующие продукты: список троек

(номенклатура, объем, потребитель); конечное состояние; начальное состояние; карта ресурсов.

Предполагается, что два элемента множества P одного типа, имеющие общую производящую платформу, относятся к разным номенклатурам. Это означает, что элемент $p \in P$ представляет весь продукт определенной номенклатуры и определенного типа, создаваемый непосредственно на некоторой платформе. Из сказанного следует, что продукт $p \in P$ однозначно определяется тройкой (номенклатура, платформа, тип).

Под объемом продукта типа *new* подразумевается объем законченного производством продукта без учета незавершенного производства.

Конечное состояние узла-продукта – это остаток на конец рассматриваемого периода: для продукта типа *mix* это объем запаса продукта, а для продукта типа *new* – незавершенное производство, представляемое в формате карты ресурсов, т.е. в разрезе использованных ресурсов. Начальное состояние – это конечное состояние аналогичного продукта на конец предыдущего периода.

Если продукт частично (полностью) является конечным продуктом, т.е. потребляется во внешней среде, то один из потребителей (единственный потребитель) в списке использования продукта определяется как «внешний».

Создание продукта p типа *new* может сопровождаться созданием сопутствующих продуктов; эти продукты представляются в модели тем же узлом, что и основной продукт, информация о них отражается в карте узла p . Карта ресурсов содержит информацию о ресурсах, используемых для создания продукта. Карта ресурсов узла-продукта типа *new* состоит из нескольких разделов. Структура карты ресурсов приведена в таблице 1.

Таблица 1

Ресурсы	Объем	
	Стоимость	Количество
• Собственная стоимость		
▪ статья ресурсов		
✓ ресурс		
...		
• Сопутствующая продукция		
▪ сопутствующая продукция		
✓ продукт		
...		
• Косвенные ресурсы		
✓ статья ресурсов		
✓ ...		
• Полная стоимость		

3. Ресурсное назначение модели

Одно из назначений модели – расчет стоимости продуктов, создаваемых системой, исходя из стоимости потребляемых системой ресурсов – как запасов, т.е. ресурсов, имеющих к началу периода, так и приобретаемых и производимых в рассматриваемом периоде.

Система потребляет ресурсы на обеспечение функционирования платформ и непосредственно на продукты, т.е. ресурсы связаны с узлами модели. Суммарное стоимостное выражение совокупности ресурсов, потребленных узлом, назовем его *собственной стоимостью*, а составляющие ее ресурсы – *собственными*, или *прямыми* ресурсами узла. Наряду с собственными ресурсами в стоимость продуктов включаются *косвенные* ресурсы, получаемые распределением (отнесением) ресурсов платформ на производимые на этих платформах продукты. Вместе с собственной стоимостью косвенные ресурсы составляют *полную стоимость* (стоимость) узла-продукта. Для узла-платформы полная стоимость совпадает с собственной стоимостью.

Собственные ресурсы узла разделим на *первичные* и *вторичные ресурсы*: вторичные ресурсы состоят в потреблении продуктов, создаваемых (любым способом, т.е. продуктов как типа new, так и типа mix) в текущем периоде, остальные ресурсы относятся к первичным. Первичными ресурсами, в частности, является потребление переходящего остатка – начального состояния продукта. Вторичные ресурсы включаются в собственную стоимость любого узла по полной стоимости потребляемого продукта.

Ресурсы узла отражаются в карте ресурсов, где **группируются по разделам** (собственные ресурсы, сопутствующая продукция, косвенные ресурсы) и **статьям**.

Реализуется следующий принцип распределения ресурсов платформ на создаваемые на них продукты: ресурсы некоторой платформы относятся на ту часть создаваемых на этой платформе продуктов, которая используется вне этой платформы.

Рассмотрим пример, изображенный на рис. 2. Согласно сформулированному принципу в процессе распределения ресурсов платформ происходит следующее:

1. ресурсы L_1 относятся на весь продукт A и распределяются пропорционально объему между его частями A_1 и A_2 ;
2. ресурсы L_2 относятся целиком на продукт B_1 ;
3. ресурсы C_1 распределяются между продуктами A_2 и B_1 , используемыми вне этой платформы;
4. ресурсы C_2 целиком относятся на продукт B_2 ;
5. ресурсы H распределяются между конечными продуктами B_1 и B_2 .

Формализация и реализация (алгоритмизация) принципа распределения ресурсов требует декомпозиции графа Γ путем разбиения продуктов – элементов множества P на составляющие их элементарные продукты в соответствии с фактом и местом их потребления.

Калькуляционным графом модели назовем граф K , удовлетворяющий условию (α): каждый виртуальный узел-продукт графа K либо потребляется *целиком* некоторым узлом (продук-

том или платформой) графа K , либо является конечным продуктом, потребляемым во внешней среде, либо представляет конечное состояние некоторого продукта-номенклатуры (рис. 3).

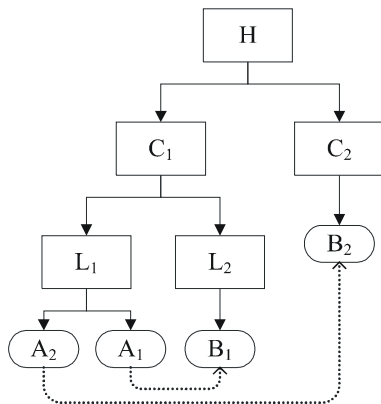


Рис. 2.

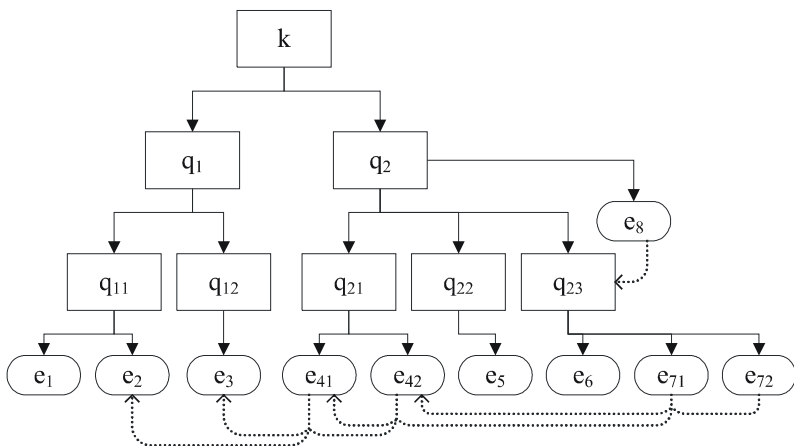


Рис. 3. Калькуляционный граф

Обозначим матрицу инцидентности графа K через $A' = \{a'_{ij}\}_{i,j=1}^{N_Q+N_E+1}$, где N_E есть число элементарных продуктов после декомпозиции. В терминах матрицы A' свойство (α) означает, что $\sum_{j=1}^{N_Q+N_E+1} a'_{ij} \leq 1$ при $i > N_Q$.

Пусть $p \in P$ – произвольный продукт. Сопоставим ему набор $\text{dec}(p) = \{p^i, i = 0, \dots, m_p\}$ элементарных (виртуальных – в отличие от реальных продуктов из P) продуктов, определяемых следующим образом:

- виртуальный продукт $p^0 = \text{gem}(p)$ представляет конечное состояние продукта p в текущем периоде – незавершенное производство на конец периода или переходящий запас на конец периода в соответствии с типом new или mix продукта p ;
- каждый виртуальный продукт $p^i, i = 1, \dots, m_p$, представляет всю ту часть продукта p или некоторого сопутствующего ему продукта, которая потребляется одним потребителем, в частности, «внешним» потребителем, т.е. является конечным продуктом; таким образом, сопутствующие продукты, если они существуют для продукта p , также будут представлены отдельными виртуальными продуктами.

Набор $\text{dec}(p) = \{p^i, i = 0, \dots, m_p\}$ виртуальных продуктов, а также процедуру формирования этого набора, назовем декомпозицией (разбиением) продукта p .

Множество $E = \text{dec}(P)$ вершин калькуляционного графа K назовем **декомпозицией множества P** , или **множеством элементарных продуктов**.

Для множеств E и $H = E \cup Q$ сохраняют смысл введенные для множеств P и $G = P \cup Q$ отношения \succ, \rightarrow и определенные на их основе понятия и конструкции. Граф K аналогичен графу Γ в том смысле, что является представлением этих отношений. Граф K можно рассматривать как дерево платформ T_Q , расширенное до дерева платформ-продуктов T_{QE} и дополненное дугами-прошивками. Определяющее свойство (α) калькуляционного

графа можно сформулировать следующим образом: для любого $p \in E$ отношение $p \rightarrow g$ имеет место не более чем для одного g , т.е. из одного узла-продукта графа K выходит не более одной прошивки.

Карта ресурсов и, следовательно, стоимость любого исходного продукта $p \in P$ получаются агрегированием карт ресурсов элементарных продуктов, составляющих $\text{desc}(p)$.

Пусть $q \in Q$. Обозначим через $T(q)$ максимальное поддерево графа K с корнем q в дереве платформ-продуктов T_{QE} ; в $T(q)$ включены также все прошивки, оба конца которых лежат в $T(q)$. Через $L(q)$ обозначим совокупность листьев поддерева $T(q)$. Для произвольного множества $R \subseteq L(q)$ определим множество $G(q, R)$ как совокупность узлов всех путей, идущих из узла q в узлы множества R . Множество $G(q, R)$ включает продукты из R , а также все входящие в платформу q (включая q) платформы и все создаваемые на этих платформах продукты, которые используются при создании продуктов из множества R .

Пусть q – произвольная платформа, R – некоторый набор производимых на этой платформе продуктов, т.е. $R \subseteq L(q)$. Пару $X = (q, R)$ назовем **проектом**, если для любого $p \in R$ из $p \rightarrow s$ следует $s \notin G(q, R)$, т.е. продукты из R потребляются вне проекта X .

Пусть $q \in Q$. Обозначим через $R(q)$ совокупность вершин $p \in L(q)$, для которых отношение $p \rightarrow s$ не имеет места для вершин s из дерева $T(q)$. Будем предполагать, что $R(q)$ непусто, поскольку $R(q) = \emptyset$ означало бы, что все продукты, создаваемые на платформе q , служат лишь для обеспечения ее функционирования. Очевидно, что пара $(q, R(q))$ удовлетворяет определению проекта. Такой проект назовем **базовым проектом** на платформе q и обозначим его через $T(q)$, поскольку граф этого проекта есть поддерево $T(q)$ (рис. 4). Понятие базового проекта играет важнейшую роль в процессе калькулирования.

Таким образом, разработана структурная модель предприятия на основе проектного подхода, обеспечивающая унифицированное описание потребления ресурсов. На основе структур-

ной модели разработаны алгоритмы перераспределения вклада потребленных ресурсов между различными уровнями структурных единиц предприятия, обеспечивающие формирование показателей стоимости создаваемых продуктов с учетом иерархии структурных единиц предприятия в разрезе статей для последующего принятия решений.

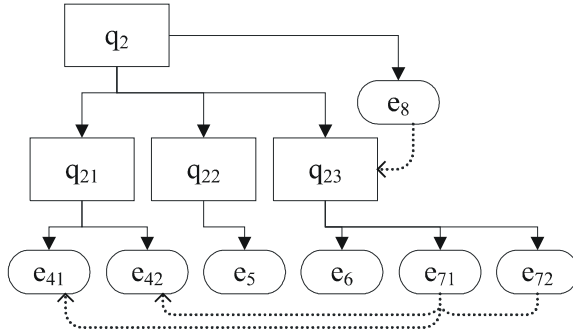


Рис. 4. Граф базового проекта $T(q_2)$

4. Построение калькуляционного графа

Сначала рассматривается процесс декомпозиции отдельного узла-продукта в графе Г. Приводятся принципы заполнения карт узлов-продуктов после декомпозиции на основе карты декомпозируемого узла. Из описания следует, что декомпозиция узла p :

1. определяется общим списком потребителей продукта p (списком использования основной номенклатуры и списком сопутствующих продуктов), т.е. списком узлов – последователей узла p ;
2. изменяет, вообще говоря, в картах узлов-продуктов, потребляемых продуктом p , т.е. узлов – предшественников узла p , список потребителей;

3. отражается в карте узлов, потребляющих продукт p , т.е. узлов – последователей узла p , лишь заменой узла p одним из узлов его декомпозиции.

Сказанное означает, что декомпозиция узла, предшествующего узлу p , не может вызвать необходимость декомпозиции узла p , т.е. необходимость декомпозиции узла p может быть вызвана только самим узлом p или декомпозицией какого-либо его узла-последователя, но не декомпозицией узла, предшествующего узлу p .

Ниже приведен алгоритм построения калькуляционного графа для случая ацикличности графа Γ (рис. 5).

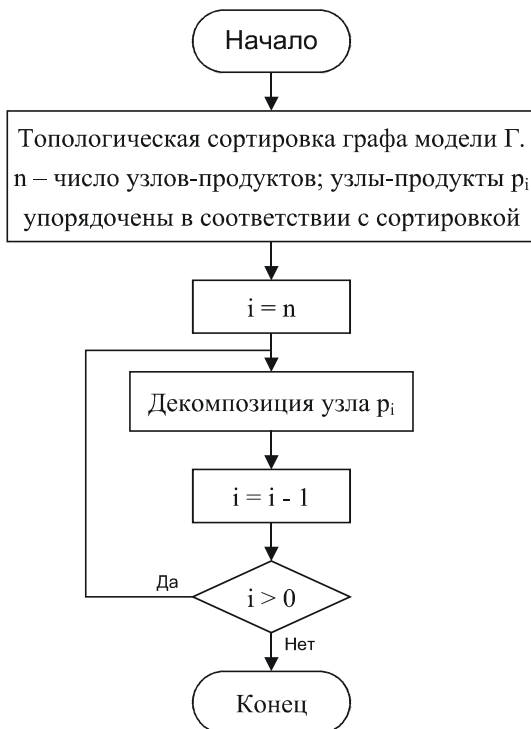


Рис. 5. Алгоритм построения калькуляционного графа

Калькулирование графа K есть определение собственной стоимости всех узлов этого графа и полной стоимости всех узлов-продуктов. Процедуру калькулирования можно представить как обработку каждого узла графа: для узла-продукта обработка есть формирование его собственной стоимости, а для узла-платформы – формирование собственной стоимости и распределение ресурсов этого узла; после обработки всех узлов в узлах-продуктах сформируется полная стоимость.

Обработка узлов не может быть выполнена в произвольном порядке: невозможно определить собственную стоимость узла прежде, чем определена полная стоимость потребляемых им продуктов. Порядок обработки узлов назовем **схемой калькулирования**. Реализован следующий алгоритм формирования схемы калькулирования: топологическая сортировка определяет порядок обработки базовых проектов; к моменту обработки очередного базового проекта может быть определена собственная стоимость его платформы (если она не пуста) и всех его продуктов, поскольку полная стоимость всех потребляемых ими продуктов уже определена; если платформа не пуста, то после расчета собственных стоимостей этих узлов осуществляется распределение ресурсов платформы на продукты базового проекта.

Затем производится построение **концептуальной модели** описания структуры предприятия, учитывающей ресурсные потоки, обеспечивающей полноту описания предприятия для задачи ресурсного планирования в виде формализованного представления общей структуры данных информационной системы без привязки к реализации для конкретной СУБД.

Далее приводится **алгоритм адаптации модели** на основе созданной концептуальной модели. Адаптация выполняется в несколько шагов:

1. построение дерева платформ в соответствии с иерархией по справочнику «Платформы»;

2. построение продуктов по документам «Создание продуктов», «Поступление ресурсов из внешней среды» и «Потребление ресурсов продуктами»;
3. создание дополнительных продуктов типа *mix*;
4. заполнение карт ресурсов для продуктов и платформ;
5. определение потребителей для узлов-продуктов по разделу «Карта ресурсов» карт узлов;
6. разделение ресурсов на первичные и вторичные.

Таким образом, построена концептуальная модель описания структуры предприятия, учитывающая ресурсные потоки и обеспечивающая полноту описания предприятия для задачи ресурсного планирования. Также реализован алгоритм адаптации структурной модели, обеспечивающий автоматизацию создания информационного обеспечения системы ресурсного планирования и отличающийся применением созданной концептуальной модели исходных данных.

Выводы

Разработана структурная модель предприятия на основе проектного подхода, обеспечивающая унифицированное описание потребления ресурсов за счет инвариантности к фазам функционирования предприятия.

Разработаны алгоритмы перераспределения вклада потребленных ресурсов между различными уровнями структурных единиц предприятия, обеспечивающие формирование показателей стоимости создаваемых продуктов в разрезе статей для последующего принятия решений с учетом иерархии структурных единиц предприятия.

Предложена концептуальная модель описания исходных данных для применения структурной модели предприятия, учитывающая ресурсные потоки и обеспечивающая полноту описания предприятия для задачи ресурсного планирования.

Разработан алгоритм адаптации структурной модели, обеспечивающий автоматизацию создания информационного обес-

печения системы ресурсного планирования за счет применения созданной концептуальной модели исходных данных.

Литература

1. АТАМАНОВ Д.Ю. *Распределение затрат при калькуляции себестоимости традиционным и операционно-ориентированным методом* // Маркетинг в России и за рубежом №3. – М.: ФИНПРЕСС, 2003. – С. 3-18.
2. БОНДАРЬ А. *Распределяем накладные расходы. Точный расчет себестоимости* // Двойная Запись. – 2005. – №6. – С. 56-59.
3. ГЕРШТЕЙН В.М., ЖИГУЛЬСКИЙ К.В. *Проектная бюджетная модель компании. I. Структура модели* // Информационные технологии моделирования и управления, №5(23). – 2005. – С.642-648.
4. ГЕРШТЕЙН В.М., ЖИГУЛЬСКИЙ К.В. *Проектная бюджетная модель компании. II. Затраты и Калькулирование* // Информационные технологии моделирования и управления, №5(23). – 2005. – С.648-654.
5. ДРУРИ К. *Управленческий учет для бизнес-решений*. – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.
6. ЖИГУЛЬСКИЙ К.В. *Проектная модель производящей системы* // Тенденции развития современных информационных технологий, моделей экономических, правовых и управленческих систем. – Рязань: Изд-во РФ МЭСИ, 2006. – С.75-79.
7. ЛАСТОВЕЦКИЙ В.Е. *Учет затрат по факторам производства и центрам ответственности*. – М.: Финансы и статистика, 1988.

THE DESIGN APPROACH TO THE DISTRIBUTED ENTERPRISE STRUCTURAL MODEL CONSTRUCTION

Konstantin Zhigulskij, Angstrom company, Voronezh, Cand.Sc. (kzhig@gela-it.ru).

Oleg Kravets, Voronezh State Technical University, Voronezh, Doctor of Science (ok@sbook.ru).

Anatoly Solyanik, The Voronezh branch of Academy of standardization, metrology and certification, Voronezh, Cand.Sc. (asms@asms.org.ru).

Abstract: The structural model of the allocated enterprise based on the design approach to structurization of processes of its functioning is described. For the model description the developed subject-oriented conceptual device in a combination to a traditional mathematical apparatus of the theory of sets and a theory of graphs is used.

Keywords: structural model, distributed enterprise, design approach.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии С.Л. Подвальным