

**Abstract:** *This paper describes approach to creation models of composite workflow which is based on theory of graphs. Determination methods of sets for developed model are given it is proposed workflow algebra based on graph theory. Deliverables of this paper can be used for future development of workflow theory and practice and for creation on its base of software.*

**Key words:** *docflow, workflow, theory of graphs, workflow model.*

**Анотація:** *У статті розглянуто підхід до створення моделей композитного документообігу на основі теорії графів. Описано методи детермінування множин для розробленої моделі, запропонована алгебра документообігу, заснована на апараті теорії графів. Положення цієї статті можуть бути використані для подальшого розвитку теорії та практики електронного документообігу і створення на їх основі програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** *електронний документообіг, процесне керування, теорія графів, модель документообігу.*

**Аннотация:** *В статье рассмотрен подход к созданию моделей композитного документооборота на основе аппарата теории графов. Описаны методы детерминирования множеств для разработанной модели, предложена алгебра документооборота с использованием графов. Положения этой статьи могут быть использованы для дальнейшего развития теории и практики электронного документооборота и создания на их основе прикладного программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** *электронный документооборот, процессное управление, теория графов, модель документооборота.*

## 1. Введение

В современном обществе столь глубоко и повсеместно используются информационные технологии, что практически не осталось сфер, на которые бы не было ими оказано трансформирующее влияние. В последнее время ведущие ученые приходят к выводу, что в своем развитии общество стало больше обращать внимания на информатизацию, чем на индустриализацию [1].

Идея привнести электронное содержание в традиционный бумажный документооборот зародилась вместе с рождением информационных технологий, развивалась все это время и все еще остается актуальной. После победоносного шествия компьютеров, в считанные годы вытеснивших печатные машинки из документотворческих процессов, казалось, до электронного будущего документов осталось совсем немного. Тем не менее оказалось, что близкие планы оптимистов были преждевременны. Традиционный документооборот при всей своей различности форм и реализаций имеет одно значимое общее свойство – носитель. Бумажный носитель, в свое время вытеснивший папирус, кожу, камень, дерево и прочее, надежно закрепился в производственных процессах и воспринимается многими как догма. Появление нового носителя внесло элемент неопределенности в простые и устоявшиеся схемы, привычные и всем понятные процессы. Теперь документ существует на двух носителях – бумажном и электронном, более того, в электронном виде может существовать несколько различных экземпляров одного и того же документа. Поэтому сейчас для описания процесса изменения системы документооборота, сложившегося веками, используется определение, в котором механически объединены название носителя и объект реализации. Надо сказать, что термин «электронный документооборот» не является неологизмом, он устоялся и сегодня широко применяется как в научной, так и технической литературе [2–4]. В Украине на данный момент уже существует определение этого термина на законодательном уровне [5].

В то же время, не существует единства в понимании семантики этого определения, восприимчивости функциональности систем электронного документооборота и ореола покрытия информационными технологиями существующих систем документооборота. Необходимость глубокой системной интеграции потоков управления и потоков электронных документов подчеркивал еще В.М. Глушков, сформулировав это в своем принципе автоматизации документооборота [6]. Все еще остается актуальной задача четкой формализации понятия «электронный документооборот» и использования существующих достижений информационных технологий для решения управленческих проблем предприятий.

## 2. Постановка проблемы

Целью настоящей статьи является формализация графовой модели композитного документооборота [6] и введение унифицированного аппарата детерминирования документооборота с помощью теории графов. Идея представления потоков информации, циркулирующих в организации, в виде наглядной графовой модели обладает существенными достоинствами.

На практике очень часто приходится решать несколько вариантов, по существу, одной и той же задачи, когда варианты определяются не изменением значений исходных параметров, а спецификой решения в различных ситуациях. Такая специфика в решении задач особенно характерна для задач документооборота.

Для однотипных задач, не имеющих существенных различий, целесообразно использовать единый составной процесс. Такой процесс может отражать специфику решения задач в различных подразделениях, но быть настолько общим, чтобы обеспечивать общность реализации. Следует обратить внимание на тот факт, что составной процесс является не простым соединением отдельных процессов, а результатом логического объединения процессов. Такое объединение выполняется с использованием специального математического аппарата, который будет рассмотрен далее.

Синтез процессов документооборота приобретает особенное значение в современных условиях развития информационных технологий. При наличии предлагаемого в настоящей статье аппарата возможен модульный синтез единого процесса документооборота. В такой системе решение задачи любой сложности синтезируется из отдельных модулей, представляющих типовые процессы. Модульный принцип синтеза процессов позволяет получить процессы документооборота более высокого качества, устранить дублирование при проектировании и реализации документооборота и тем самым снизить трудоемкость.

Графы являются одной из знаковых систем дискретной математики, которые уже давно используются для реализации интуитивно воспринимаемого представления прикладных задач. Применение графов позволяет использовать апробированный аппарат, разрабатываемый и описываемый со времен Эйлера по наши дни, для представления потоков данных и изменений состояний документооборота. Работа по представлению последовательности производственных процессов с помощью аппарата графов велась еще В.М. Глушковым [7]. Отечественная наука достигла значительных результатов в теоретическом описании и практическом применении графов в решении задач документооборота. В качестве примера можно взять информационную модель, приведенную

в работе [8], которая формализована и детерминирована в рамках организации с четко разделенной структурой подразделений. Однако эта модель и ее прикладные применения разрабатывались с учетом возможностей и ограничений информационных технологий, существовавших на тот момент. Сегодня, после экспоненциального увеличения возможностей компьютерной техники и технологий программирования, появилась возможность создавать более насыщенные и вместительные эффективные распределенные системы. С учетом этих новых открывшихся перспектив в настоящей статье будет рассмотрена графовая модель документооборота с привнесенным в нее обновленным содержанием.

### 3. Графовая модель документооборота

Для построения графовой модели необходимо определить некоторый набор данных, которые будут приняты базисом. Для графовой модели данные должны быть дискретны и предполагать связность различной степени. В качестве основы для рассматриваемой графовой модели предлагается использовать нотацию, введенную автором статьи в работе [8]. Нотация читается следующим образом: «Документооборот – это множество действий, производимых множеством участников над множеством документов». В соответствии с этой нотацией, композитный документооборот представляется тройкой:

$$D_T = \{Y, D, \Phi\}, \text{ где}$$

$D_T$  – формальная модель документооборота;

$Y$  – множество участников;

$D$  – множество действий;

$\Phi$  – множество состояний.

Отношения между множествами и элементами множеств рассмотрены ниже в п. 3.2.

Предполагается, что все существующие процессы документооборота и те процессы, которые могут возникнуть в будущем в связи с трансформированием документооборота, могут быть представлены системой трех множеств. В рамках данной нотации не рассматривается семантика документооборота, то есть модель является общей и не привязывается к информации, хотя выступает и ее носителем.

#### 3.1. Декомпозиция потоков

Приведенная нотация предполагает декомпозицию потоков документооборота на три конечные множества, которые образуют систему. Декомпозиция достигается путем разделения описанных целостных процессов документооборота на совокупность отдельных элементов. При проведении декомпозиции считается, что множество полученных отдельных групп элементов обладают теми же свойствами и поведением, что и моделируемые процессы. Рассмотрим получение каждого множества по отдельности, исходя из специфики элементов каждого из множеств.

### 3.1.1. Множество участников

Множество участников  $U$  означает также множество ролей, которые выполняют участники в существующей системе документооборота. Для актуализации множества ролей необходимо использовать имеющиеся на предприятии должностные инструкции. В случае отсутствия инструкций или низкой степени адекватности инструкций существующим процессам документооборота, необходимо использовать фактические роли, выявленные бизнес-аналитиками на этапе предпроектного обследования. Современная управленческая модель документооборота подразумевает множественность ролей, выполняемых одним сотрудником. Поэтому под участниками следует понимать не конкретных персоналий, а перечень выполняемых ими должностных обязанностей.

Как уже отмечалось выше, все сотрудники в рабочем процессе выполняют несколько ролей, которые назначены им руководителем или должностной инструкцией. В то же время одна и та же роль может соответствовать сразу нескольким сотрудникам. Такая унификация позволяет формализовать и детализировать требования, предъявляемые организацией к своим сотрудникам, а также позволяет формировать критерии эффективности и успешности работы конкретного сотрудника. Помимо этого, такой подход упрощает прием на работу, так как позволяет сформулировать список требований, которым должен удовлетворять кандидат. Таким образом, ролевое представление должностных обязанностей сотрудника не только дает возможность формализовать обязанности в виде множества ролей, но также позволяет организации более эффективно управлять персоналом.

Поскольку при формировании списка ролей значительную роль играет субъективное восприятие процессов документооборота архитектором системы, то на этапе проектирования неизбежно возникает множественность представлений. Процессы одной и той же организации могут быть представлены значительным количеством вариантов, которые будут отличаться как адекватностью представлений, так и полнотой. Критерием успешности формирования множества ролей является полнота и невырожденность множества  $U$ , то есть декомпозиция может быть проведена с избыточностью таким образом, чтобы одному физическому участнику соответствовало несколько ролей. Допустима также ситуация, в которой одному и тому же действию в реальной жизни может соответствовать несколько действий формализованных ролевых персон. В то же время недопустимо вырождение множества, то есть ситуация, в которой физическому участнику не установлено никакой роли.

### 3.1.2. Множество состояний

Множество состояний определяет конечную совокупность дискретных представлений документа, каждое из которых является одним из возможных состояний документов в пределах жизненного цикла моделируемого документооборота.

Формализованное на этапе анализа и детерминированное на этапе синтеза, это множество представляет собой полное определение всех возможных состояний, допустимых и необходимых в документообороте. Именно в силу этого такой способ задания моделей называют преддетермини-

рованным документооборотом [IBM]. В отличие от преддетерминированного документооборота, ситуативный документооборот предполагает возможность возникновения новых состояний во время развития процессов. Оба вида документооборота, и преддетерминированный и ситуативный, могут быть представлены тройкой  $\{Y, D, \Phi\}$ .

Детерминирование элементов множества  $\Phi$  – состояний происходит путем выявления допустимых форм документов. Допустимые документы включают электронные версии бумажных документов, выявленных при анализе существующей системы, и новые формы, возникновение которых связано с внутренними потребностями реализуемой системы. Каждая из таких форм состоит из предопределенного набора полей и начальных данных. Предполагается, что форма будет, по возможности, неизменной во время жизненного цикла документооборота. Это не предполагает статичность данных, а говорит о том, что если происходит изменение данных формы, то эта форма переходит в новое состояние.

Множество состояний  $\Phi$  принято еще называть альбомом форм. Предполагается, что выявленный и описанный на этапе анализа альбом форм утверждается потребителем системы, и во время эволюции системы происходит мониторинг изменений, поддерживается адекватность альбома форм и состояний, используемых системой.

Критерием успешности формализации множества  $\Phi$  является его полнота и адекватность моделируемой системе документооборота, то есть после синтеза и программирования модели не может возникнуть ситуация, при которой документ надо будет перевести в состояние, не являющееся элементом множества  $\Phi$ .

### 3.1.3. Множество действий

При проведении анализа создаваемой системы документооборота детерминируются и однозначно документируются связи между состояниями. Собственно логика документооборота представляется в виде последовательности действий, которые приводят систему к смене одного состояния на другое. В результате синтезируется связанная последовательность действий, происходит преобразование документов от начальных состояний к требуемым (конечным).

Эмпирика документооборота показывает, что при синтезе реальных моделей документооборота в организации часто сложно декомпозировать адекватно реальные процессы документооборота на совокупность четко разделенных дискретных процессов. Возникающие сложности связаны, в первую очередь, с субъективной составляющей представления о процессе документооборота. Это приводит к тому, что различные специалисты организации, участвующие в документообороте, имеют собственное уникальное представление о роли документов и участников в процессе. Множественность представлений порождает множественность реализаций и противоречия. В результате синтезируемые модели получаются громоздкими и плохоуправляемыми. В статье под определением действия как элемента базиса системы документооборота будем понимать, что действие – это событие, возникновение которого однозначно приводит к изменению состояния хотя бы одного документа. Таким образом, множественность представлений может быть унифицирована путем объединения однонаправленных связей, соединяющих одни и те же состояния.

Очевидным является также тот факт, что каждое состояние документа для своего возникновения требует некоего стробирующего события, то есть в системе должно произойти действие, которое приведет к возникновению этого состояния. Таким образом, можно утверждать, что критерием успешности проведения детерминирования множества  $D$  является связность элементов из множества  $\Phi$ .

Методика декомпозиции потоков реальных организаций на дискретные составляющие, которые группируются в представленные множества, приведена в работе [10].

### 3.2. Синтез модели

После актуализации тройки  $\{Y, D, \Phi\}$ , можно утверждать, что между элементами множеств существуют отношения, которые определяют связи между элементами множеств. Отношения могут быть как между различными элементами одного множества, так и между элементами различных множеств. Примером отношений между элементами одного множества может служить задание причинно-следственных связей между состояниями в множестве  $\Phi$ . Определение ролей документооборота, то есть влияние участников на конкретные состояния, приводящие к их изменению, определяется отношением элементов из множества  $Y$  к элементам из множества  $\Phi$ . Таким образом, можно утверждать, что отношения между элементами множеств задают отношения, совокупность которых определяет полный перечень бизнес-процессов организации, что предопределяет возможность полноты реализации системы.

Для отображения отношений используются два типа связей – «один к одному» и «один к многим». Теоретически возможно использование и связи «многие к многим», однако в практике ее использование нецелесообразно, так как приводит к усложнению восприятия модели и логики ее работы. Если по какой-либо причине возникнет необходимость его использования, то этот тип связи может быть синтезирован с помощью двух предыдущих типов.

Таким образом, мы исходим из того, что документооборот организации задан в виде систем трех множеств, каждое из которых содержит конечное количество элементов. Предполагается также возможность изменения содержания множеств во время жизненного цикла процессов документооборота. Изменения элементов происходят дискретно таким образом, что каждому шагу изменений соответствует система  $\{Y, D, \Phi\}$  со статическим содержанием множеств. Множество, состоящее из троек  $\{Y, D, \Phi\}$ , описывает события, происходящие в системе документооборота, с учетом времени. Каждый из элементов множества соответствует общему состоянию системы на какой-либо определенный момент, называемый кадром.

#### 3.2.1. Использование графов в модели документооборота

В данной статье уже введена нотация, которая задает систему композитного документооборота с достаточной степенью адекватности. Для установления соответствия введенной нотации графовому представлению будем использовать так называемую парную грамматику. Парная грамматика представляет собой композицию двух грамматик, между правилами и нетерминальными символами которых устанавливаются предтерминированные однозначные соответствия. Таким образом, парная грамматика устанавливает однозначную связь между элементами языков, определенных двумя грамматиками. Будем рассматривать эту связь как систему перевода одного языка в другой, то есть систему соответствия их элементов.

В нашем случае для получения адекватной парной грамматики рассмотрим систему из двух языков, в которой первый язык – введенная нотация, то есть тройка множеств  $\{V, D, \Phi\}$ , второй язык – набор графов с направленными взвешенными дугами и вершинами. Полученные два языка будем использовать для установления однозначного соответствия между понятиями теории графов и понятиями композитного документооборота, введенными и применяемыми автором этой статьи [8, 10].

### 3.2.2. Графовая модель

При построении графовой модели документооборота предлагается использовать следующий способ отображения документооборота графами. Для задания множества вершин графа будем использовать множество возможных состояний  $\Phi$ . Ребра графа зададим с помощью множества действий  $D$ . Установим это соответствие таким образом, чтобы выполнялись следующие правила:

- одной вершине графа соответствует один и только один элемент множества  $\Phi$ ;
- одному ребру графа соответствует один и только один элемент множества  $D$ ;
- одному элементу множества  $\Phi$  соответствует одна и только одна вершина графа;
- одному элементу множества  $D$  соответствует одно и только одно ребро графа.

Такое тождественное отображение множеств состояний  $\Phi$  в множество вершин  $v$  и множества состояний  $D$  в множество ребер  $e$  можно математически определить следующим образом: для любого  $i$  справедливо утверждение  $v(i) = \Phi(i)$  и  $e(i) = D(i)$ , где  $i \in I, I=1,2,3..n$ . То есть определяются две парных грамматики – первая грамматика для установления перевода  $\Phi$  в  $v$ , вторая грамматика – для установления перевода  $D$  в  $e$ .

Таким образом, связи между вершинами тождественно соответствуют связям состояний моделируемого документооборота. В графе документооборота вершины графа соединяют ребра в том и только в том случае, если соответствующие вершинам состояния связаны действием, соответствующим ребру, то есть  $e = \{e, \text{если ребро существует}; 0, \text{если ребро отсутствует}\}$ .

Направленность ребер устанавливается таким образом, чтобы отображать логику последовательности смены состояний документооборота. Вершина  $i$  является входящей вершиной для вершины  $j$  через ребро  $k$  в том и только в том случае, если состояние  $i$  сменяется на состояние  $j$  после совершения действия  $k$ . Таким образом, состояниям  $y_1, y_2, \dots, y_n$  сопоставляются вер-

шины графа  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , и каждая пара вершин  $v_i$  и  $v_j$  соединена дугой  $e_{ij}$ , идущей от  $v_i$  к  $v_j$  в том и только в том случае, когда состояние  $v_i$  является входным состоянием для  $v_j$ .

### 3.2.2.1. Термины для описания локальной структуры

Чтобы получить возможность четкого описания различных структурных свойств документооборота, полезно ввести в графовую модель ряд понятий, определенных и широко применяемых в теории графов.

Граф есть совокупность непустого множества  $V$ , изолированного от него множества  $E$  (возможно, пустого) и отображения  $\Phi$  множества  $E$  в  $V \times V$ . Элементы множества  $V$  называются вершинами графа, элементы множества  $E$  – ребрами графа, а  $\Phi$  – отображением инцидентности графа [11].

Если  $e \sim (v \& w)$ , то  $v$  и  $w$  называются граничными точками вне зависимости от того может ли быть граф представлен в евклидовом пространстве или нет. Если  $v = w$ , тогда  $v$  – единственная граничная точка ребра  $e$ , а само ребро  $e$  называется петлей. Если  $e_1 \sim (v, w)$  и  $e_2 \sim (v, w)$ , тогда  $e_1$  и  $e_2$  называются параллельными ребрами. В частности, две петли, инцидентные одной и той же вершине, являются параллельными. Вершины  $v$  и  $w$  называются смежными, если существует одно ребро  $e$  такое, что  $e \sim (v, w)$ . В частности, вершина  $v$  смежна сама с собой, если существует петля, инцидентная  $v$ , в противном случае  $v$  не может быть смежной сама с собой. Аналогично, ребра  $e_1$  и  $e_2$  называются смежными, если они имеют, по крайней мере, одну общую граничную точку.

Смежность является отношением между двумя подобными элементами (между вершинами или между ребрами), тогда как инцидентность является отношением между разнородными элементами. Число ребер, инцидентных вершине  $v$  (петля учитывается дважды), называется степенью вершины  $v$  и обозначается  $b(v)$ . Говорят, что вершина  $v$  изолирована, если  $b(v)=0$ . Если дуга  $e$  направлена от вершины  $v$  к вершине  $w$ , то она считается отрицательно инцидентной вершине  $v$  и положительно инцидентной вершине  $w$ . Число дуг, положительно инцидентных вершине  $v$ , называется положительной степенью  $v$  и обозначается через  $b^+(v)$ . Отрицательная степень определяется аналогично, через  $b^-(v)$ .

Конечная последовательность ребер графа  $e_1, e_2, \dots, e_n$  (не обязательно различных) называется маршрутом длины  $n$ , если существует последовательность  $v_0, v_1, \dots, v_n$  из  $n+1$  (не обязательно различных вершин) таких, что  $e_i \sim (v_{i-1} \& v_i)$  для  $i = 1, 2, \dots, n$ . Говорят, что маршрут замкнут, если  $v_0 = v_n$ , и не замкнут, если  $v_0 \neq v_n$ . Если все неориентированные ребра, составляющие неориентированный маршрут, различны, то такой маршрут называется цепью, если она не замкнута, и циклом, если он замкнут. Ориентированный маршрут, в котором нет повторяющихся

дуг, называется путем или контуром (ориентированным циклом) в зависимости от того, является он замкнутым или нет.

### 3.2.2.2. Определения модели документооборота на графе

В настоящей статье для представления графа документооборота принимается написание вида  $G = (V, E, \Gamma)$ , где  $V$  – множество вершин графа,  $E$  – множество ребер графа,  $\Gamma$  – множество отношений инцидентности. Таким образом, граф  $G$  состоит из непустого множества элементов, называемых вершинами; множества связанных пар из множества вершин, называемых ребрами; множества признаков направленности ребер. Множество, состоящее из вершин графа  $G$ , называется множеством вершин графа и обозначается  $V(G)$ . Аналогично, множество, состоящее из ребер, называется множеством ребер и обозначается  $E(G)$ . Если  $v$  и  $w$  являются вершинами графа  $G$ , тогда ребро  $vw$  называется связью, которая соединяет  $v$  и  $w$ .

Две вершины  $x$  и  $y$  являются граничными вершинами дуги  $u$ , если  $x$  – начало дуги, а  $y$  – конец дуги. Две вершины  $x$  и  $y$  смежны, если они различны и существуют, и есть дуга, идущая от одной из них к другой. Считается, что дуга  $u$  исходит из вершины  $x$ , если  $x$  является началом, но не является концом  $u$ , и что дуга заходит в  $x$ , если  $x$  является концом, но не является началом  $u$ . В обоих случаях дуга  $u$  называется инцидентной вершине  $x$ , а вершина  $x$  – инцидентной дуге  $u$ . Общее число дуг, инцидентных вершине  $x$ , является степенью вершины  $x$  и обозначается  $b(x)$ .

### 3.2.3. Типы графа в модели

Для наглядного представления модели документооборота предлагается использовать два основных вида графов: ориентированные и неориентированные. В большинстве современных реализаций электронного документооборота используются только ориентированные графы, что накладывает ряд ограничений на применимость решения. В частности, на раннем этапе надо иметь детерминированное описание о направленности протекающих процессов, что на практике часто является очень сложным. Рассмотрим целесообразность и адекватность применения различных видов графов в модели документооборота. Для этого воспользуемся разделением процесса создания композитного документооборота на этапы, предложенные автором настоящей статьи в работе [10].

Неориентированные графы удобно использовать на этапах анализа и проектирования для наглядного отображения полученных при обследовании данных. Характерной для этих этапов особенностью являются слабая связность и неустойчивость корреляций первичных данных. Модели начинают строиться на основании данных, полученных при первичном анализе. При опросе дополнительных пользователей, выявлении дополнительных данных становятся явными корреляции, которые упраздняют предыдущие. В описанной ситуации неориентированный граф очень удобен для использования, так как позволяет лишь констатировать факт наличия связи между отношения-

ми, не требуя установления направленности. Первые данные, полученные при анализе, вообще представляют собой множество состояний документа, что отображается вырожденным неориентированным графом. По мере поступления дополнительных данных становятся явными существующие отношения и начальные состояния рассматриваемых бизнес-процессов. Это отображается слабосвязным неориентированным графом.

Ориентированные графы целесообразно использовать на этапах проектирования, реализации, внедрения и разработки. При разработке систем композитного документооборота на вышеописанных этапах на неупорядоченные отношения между состояниями накладываются правила, описывающие их последовательность. При формализации и детерминировании этих правил важно обеспечить сохранность полученной информации о причинно-следственных связях. Эта информация наглядно и полно отображается с помощью ориентированных графов.

При составлении графовых моделей бизнес-процессов удобно использовать циклы для отображения реальных процессов, происходящих на предприятии. На практике, часто в производственном процессе, используется циклическая организация, то есть документ попадает в цикл, образованный между несколькими исполнителями и состояниями, который заканчивается по факту выполнения достаточных условий. Такая форма прозрачна и широко распространена в реальной жизни. Тем не менее значительно усложняет задачу моделирования с точки зрения конечности моделируемых процессов. Не представляется возможным гарантировать факт возникновения условий достаточности, то есть критериев окончания перфекционного цикла. В таком случае всегда остается вероятность того, что цикл не будет завершен в пределах жизненного цикла документооборота. Таким образом, можно утверждать, что применение графов Бержи для описания моделей документооборота накладывает неоправданные ограничения на синтезируемые системы и значительно сокращает функциональные возможности будущих систем.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что для отображения процессов документооборота целесообразно использовать ориентированные графы, содержащие циклы.

#### **3.2.4. Время в модели**

Используемая в данной модели дискретизация состояний документов и событий, вызывающих изменение состояний, подразумевает, что эти события происходят в некотором дискретном временном пространстве. Это значит, что производственная деятельность предприятия разделяется на соответствующие участки времени, каждый из которого содержит не более одного события по изменению состояний. Общая совокупность этих временных участков представляет жизненный цикл документооборота.

Проводя аналогию с кинематографом, можно сравнить процесс документооборота, протекающий во времени, с кинофильмом. В этом примере каждый временной участок дискретного времени документооборота представляется кадром фильма – снимком ситуации, в котором зафиксировано текущее состояние документооборота организации. Последовательная смена кадров образует анимацию, что представляет общий процесс движения документов организации во времени – последовательное изменение состояний множества после некоторых дискретных тактов.

Очевидно, что на практике в документообороте даже небольшого предприятия участвует некоторое множество документов. До сих пор основное внимание мы уделяли модели документооборота, состоящей из одного документа, состояния которого образуют множество состояний. Расширим нашу модель так, чтобы она отражала не один документ, а множество документов, что позволит представлять не только существующие документообороты, но и те, которые могут возникнуть в будущем. Для этого надо представить каждый из документов в виде множества состояний, возможных в пределах документооборота. Если произвести конкатенацию полученных множеств, то получится новое множество, т.е. совокупность элементов которых представляют все возможные состояния всех документов, которые участвуют в моделируемом процессе документооборота.

Описываемая динамическая модель документооборота представляет собой множество матриц, каждая из которых определяет состояние документов в единицу времени. Под единицей времени будем понимать момент времени между событиями, приводящими к изменению хотя бы одного состояния одного документа.

Представление модели в виде совокупности состояний, которые могут быть представлены в виде графа, позволяют выразить ее реактивность в терминах темпоральной логики. В работе [12] описано использование темпоральной логики на E-сетях, являющихся мощным расширением сетей Петри. Таким образом, появляется возможность представления систем документооборота с помощью E-сетей и реализации динамической модели, основанной на темпоральной логике. Такая реализация представляет самостоятельный интерес и будет исследована автором в дальнейшей работе.

### 3.2.5. Матричная форма представления

Для задания матричной формы представления документооборота будем использовать три множества из введенной ранее тройки  $\{V, D, \Phi\}$ . Считается, что на момент представления произошла актуализация множеств, то есть все состояния представлены множеством форм, все действия, приводящие к изменению состояний множеством действий, а участники, производящие действия, описаны в виде ролей в множестве участников. Предполагается, что задаваемая матричная модель будет представлять динамическую модель документооборота, оперирующую конечным количеством документов, при этом описывая в точности до дискретизации все события и состояния системы.

Для решения вышеописанной задачи предлагается использовать множество плоских прямоугольных матриц документооборота, каждая из которых представляет состояние системы в некоторую дискретную единицу времени. Столбцы матрицы документооборота ставятся в соответствие состояниям документов, возможных в пределах жизненного цикла документооборота. То есть первый столбец соответствует первому элементу множества  $\Phi$ , второй столбец – второму элементу и так далее, до последнего элемента множества  $\Phi$ . Строки матрицы документооборота ставятся в соответствие действиям, произведение которых приводит к смене состояния хотя бы одного документа. Первая строка соответствует первому элементу множества  $D$ , вторая строка – вто-

рому и так далее, для всего множества  $\mathcal{D}$ . Таким образом, мы получаем прямоугольную матрицу со столбцами, количество которых равно размерности множества  $\Phi$  и строкам по размерности матрицы  $\mathcal{D}$ . Заполняется данная матрица элементами множества ролевых участников моделируемого документооборота  $\mathcal{V}$ . Элемент заполняется в клетку матрицы в том и только в том случае, если соответствующий участник производит действие, соответствующее элементу строки, что приводит к изменению состояния, соответствующего элементу столбца. В том случае, если на данном шаге документооборота действие строки не изменяет состояние столбца, то элемент матрицы заполняется пустыми или нулевыми значениями. Критерием успешности создания матрицы является ее невырожденность по столбцам и строкам. То есть в матрице существуют хотя бы один столбец, содержащий непустой элемент, и хотя бы одна строка, в которой присутствует непустой элемент. При этом предполагается, что для заполнения будут задействованы не все элементы множества ролевых участников  $\mathcal{V}$ .

Таким образом, мы получили матрицу документооборота, содержание которой однозначно соответствует состоянию документооборота на первом шаге. После возникновения первого события, а именно после того, как произошло первое действие, приведшее к изменению хотя бы одного состояния, произведем актуализацию матрицы документооборота. А именно, приведем содержание матрицы таким образом, чтобы элементы матрицы соответствовали текущему состоянию – второму шагу документооборота. Таким образом, на втором шаге мы снова получаем матрицу, заполненную участниками настоящего шага, находящихся на пересечении производимых ими действий и состояний, которые эти действия изменяют. Поскольку мы оговаривали, что количество шагов документооборота хоть и может быть большим, но все равно является конечным, то и сам документооборот может быть представлен в виде конечного множества описанных выше матриц. Каждая матрица представляет собой общее состояние всей системы композитного документооборота на момент времени, в котором не происходит изменения состояний документов.

Для иллюстрации содержательного смысла используемых понятий рассмотрим модель документооборота, построенную на основе предлагаемой графовой модели. В качестве основы возьмем процесс размещения заказа труб на одном из трубопрокатных заводов Днепропетровской области. Производственный смысл процесса состоит в том, чтобы на этапе получения заказа от холдинговой компании произвести согласования с необходимыми службами и включить заказ в планы работ.

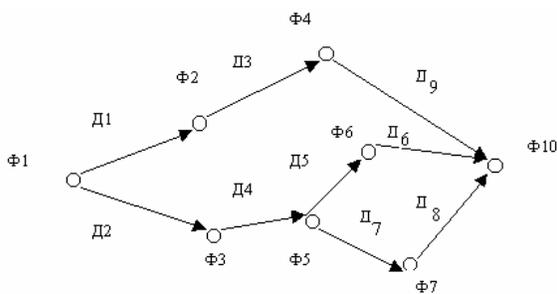


Рис. 1. Графическое изображение процесса заказа труб в производство

При этом производятся сверка загрузки производственных мощностей, доступных в запрашиваемый период, и модификация планов после размещения заказов в производство.

Настоящий процесс реализован в существующей системе документооборота реального предприятия и в настоящее время используется в производственной деятельности. На предприятии существует и реализуется политика безопасности, в которой существуют ограничения циркулирования информации.

В связи с этим ограничением в рамках на-

Таблица 1. Сценарий 1.

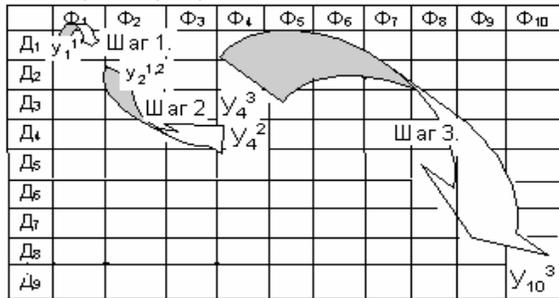


Таблица 2. Сценарий 2.

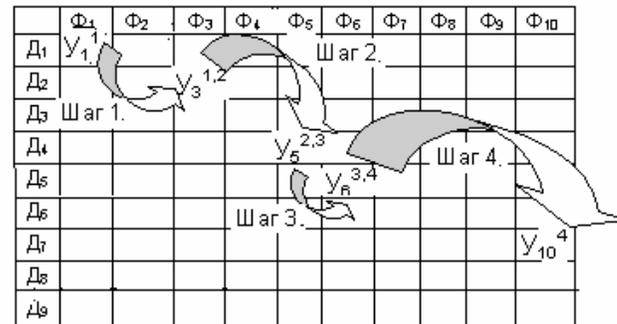
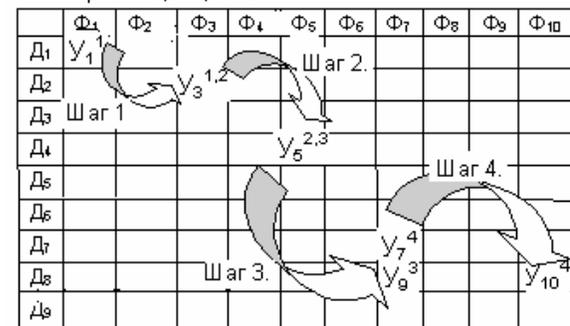


Таблица 3. Сценарий 3.



стоящей статьи не будут использоваться реальные названия документов, описания производимых действий и должности исполнителей.

Для обозначения параметров модели будем использовать условные обозначения. Документы обозначим множеством форм, используемых в моделируемом процессе. Обозначим эти формы  $\Phi_1 \dots \Phi_{10}$ . Действия, производимые над документами для смены состояний, обозначим множеством действий  $Д_1 \dots Д_{10}$ . Исполнителей, производящих действия  $Д_1 \dots Д_{10}$ , обозначим множеством  $У_1 \dots У_{10}$ .

В рамках рассматриваемого процесса рассмотрим возможные сценарии, которые могут быть реализованы заданной моделью. Применим терминологию теории графов к модели документооборота. В таком случае возможные сценарии документооборота соответствуют путям графа. В заданном графе существуют три возможных пути, которые мы обозначим через ребра:

пути:  $С_{ц1} = Д_1, Д_3, Д_9$ ;  $С_{ц2} = Д_2, Д_4, Д_5, Д_6$  и  $С_{ц3} = Д_2, Д_4, Д_7, Д_8$ . Указанным путям соответствуют сценарии документооборота.

Построим матрицы документооборота, соответствующие рассматриваемым сценариям. На каждом шаге сценария реализуется шаг документооборота, соответствующий действию, производимому над документами.

Сценарий 1. На шаге 1 элементы матрицы  $Д_1, \Phi_1$  и  $Д_2, \Phi_2$  принимают соответственно значения  $У_1$  и  $У_2$ .

На шаге 2 элементы матрицы  $Д_2, \Phi_2$  и  $Д_4, \Phi_4$  принимают соответственно значения  $У_2$  и  $У_4$ , а на шаге 3 элементы  $Д_3, \Phi_4$  и  $Д_9, \Phi_{10}$  принимают соответственно значения  $У_4$  и  $У_{10}$ . Сценарий 2. На шаге 1 элементы матрицы  $Д_1, \Phi_1$  и  $Д_2, \Phi_3$  принимают соответственно значения  $У_1$  и  $У_3$

На шаге 2 элементы матрицы  $Д_2, \Phi_3$  и  $Д_4, \Phi_5$  принимают соответственно значения  $У_3$  и  $У_5$ , а на шаге 3 элементы  $Д_4, \Phi_5$  и  $Д_5, \Phi_6$  принимают соответственно значения  $У_5$  и  $У_6$ , а на шаге 4 элементы  $Д_6, \Phi_6$  и  $Д_7, \Phi_{10}$  принимают значения  $У_6$  и  $У_{10}$ .

Сценарий 3. На шаге 1 элементы матрицы  $D1, \Phi1$  и  $D2, \Phi3$  принимают соответственно значения  $U1$  и  $U3$

На шаге 2 элементы матрицы  $D2, \Phi3$  и  $D4, \Phi5$  принимают соответственно значения  $U3$  и  $U5$ , а на шаге 3 элементы  $D4, \Phi5$  и  $D8, \Phi7$  принимают соответственные значения  $U5$  и  $U9$ , а на шаге 4 элементы  $D7, \Phi7$  и  $D8, \Phi10$  принимают соответствующие значения  $U7$  и  $U10$ .

Полученные матрицы инцидентности определяют графовую модель документооборота рассматриваемого процесса. Совокупность этих матриц задает все возможные сценарии движения документов в процессе, описывает все возможные состояния документов и определяет возможных участников.

Кроме матрицы инцидентности, граф удобно представлять и матрицей смежности. Как матрица инцидентности отражает отношения между вершинами и ребрами, так матрица смежности отражает отношения между собственно вершинами. В нашей модели матрица смежности отражает отношения состояний, элементами которой являются действия, приводящие к смене состояний.

### **3.2.6. Операции над моделями**

После отражения детерминирования процесса документооборота с помощью матриц появляется возможность использования апробированного математического аппарата теории графов в применении к документообороту. Этот факт имеет большое практическое применение в связи с тем, что определение реальных бизнес-процессов происходит поэтапно. При этом принятой формой является использование не одного большого разветвленного бизнес-процесса, а библиотеки, состоящей из большого количества достаточно простых бизнес-процессов.

Таким образом, модульный синтез общей модели документооборота из составляющих, представляющих простые элементы процессов, должен основываться на специальном математическом аппарате. В настоящей статье к рассмотрению предлагается такой аппарат, который основывается на приведении документооборота к системе множеств и операциям, производимым над этим множествами. Набор этих операций в рамках настоящей статьи называется алгеброй документооборота.

Основываясь на общем определении алгебры и определениях операций объединения, пересечения, разности и декартового произведения из теории множеств, введем алгебру документооборота. На основании данных определений можно утверждать, что любой документооборот, представленный в виде графовой модели, может быть адекватно описан с помощью алгебры, содержащей операции объединения, пересечения, разности и произведения.

#### **3.2.6.1. Операция объединения**

В операции объединения моделей документооборота используется понятие объединения из теории множеств, которое заключается в следующем: если даны два множества  $M1$  и  $M2$  с различным

числом элементов, то объединением этих множеств является новое множество  $M$ , в которое входят элементы множества  $M1$  и недостающие элементы множества  $M2$ .

Операция объединения моделей документооборотов, представленных графовыми моделями, записываются в виде

$$D_{\Gamma}(V, E, \Gamma) = D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1) \cup D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2),$$

где  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$  – исходные модели;  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  – объединение исходных моделей. Ниже приводятся правила, по которым производится объединение моделей, заданных нотацией  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$ :

1. Вершинами графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  является объединение вершин исходных графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $V = V1 \cup V2$ .

2. Ребрами графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  является объединение ребер графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $E = E1 \cup E2$ .

3. Множество отображений для каждой вершины  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  получается путем объединения той же вершины для исходных графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $\Gamma vi = \Gamma 1vi \cup \Gamma 2vi$ .

### 3.2.6.1. Операция пересечения

В операции пересечения используется понятие пересечения из теории множеств, которое заключается в следующем: если даны два множества  $M1$  и  $M2$  с различным числом элементов, то пересечением этих множеств является новое множество  $M$ , в которое входят только общие элементы исходных множеств.

Операция пересечения графовых моделей документооборотов записывается в виде

$$D_{\Gamma}(V, E, \Gamma) = D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1) \cap D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2).$$

Правила, по которым происходит пересечение графовых моделей:

1. Вершинами графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  является пересечение вершин исходных графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $V = V1 \cap V2$ . Другими словами, вершинами графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  будут только те вершины, которые являются общими для исходных графов.

2. Ребрами графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  является пересечение ребер графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $E = E1 \cap E2$ . То есть ребрами графа будут являться только общие для исходных графов ребра, соединяющие общие вершины.

3. Отображение для каждой вершины графа  $D_{\Gamma}(V, E, \Gamma)$  получается пересечением отображений для той же вершины исходных графов  $D_{\Gamma 1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{\Gamma 2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть

$\Gamma vi = \Gamma 1vi \cap \Gamma 2vi$ . Другими словами, отображениями для каждой вершины графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  являются отображения, общие для тех же вершин в исходных графах.

### 3.2.6.1. Операция разности

Определение данной операции базируется на понятии разности из теории множеств, которое заключается в следующем: если даны два множества  $M1$  и  $M2$ , то разностью этих множеств является новое множество  $M$ , содержащее элементы первого множества  $M1$ , за исключением тех элементов, которые являются общими для  $M1$  и  $M2$ .

Разность графовых моделей записывается в виде

$$D_T(V, E, \Gamma) = D_{T1}(V1, E1, \Gamma1) / D_{T2}(V2, E2, \Gamma2).$$

Правила получения разности моделей  $D_T(V, E, \Gamma)$  следующие:

1. Вершинами графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  являются вершины графа  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$ , за исключением тех вершин, которые являются общими для исходных графов, то есть  $V = V1 / V2$ .
2. Ребрами графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  являются ребра графа  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$ , за исключением тех ребер, которые инцидентны вершинам, общим для исходных графов, то есть  $E = E1 / E2$ .
3. Отображением для каждой вершины графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  является разность между всем множеством вершин этого графа и отображением рассматриваемой вершины в графе  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$ , то есть  $\Gamma vi = V / \Gamma 1vi$ .

### 3.2.6.1. Операция произведения

Произведение графовых моделей документооборота записывается в виде

$$D_T(V, E, \Gamma) = D_{T1}(V1, E1, \Gamma1) \times D_{T2}(V2, E2, \Gamma2),$$

где  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{T2}(V2, E2, \Gamma2)$  – исходные модели;  $D_T(V, E, \Gamma)$  – произведение исходных моделей.

Правила получения произведения моделей  $D_T(V, E, \Gamma)$  следующие:

1. Вершинами графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  является объединение вершин исходных графов  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$  и  $D_{T2}(V2, E2, \Gamma2)$ , то есть  $V = V1 \cup V2$ .
2. Отображения для каждой вершины графа  $D_T(V, E, \Gamma)$  определяются как  $\Gamma vi = \Gamma 2\{\Gamma 1vi\}$ , где  $\Gamma vi$  – отображение вершины  $vi$  графа  $D_T(V, E, \Gamma)$ ;  $\Gamma 1vi$  – отображение вершины  $vi$  графа  $D_{T1}(V1, E1, \Gamma1)$ ;  $\Gamma 2\{\Gamma 1vi\}$  – отображение вершины графа  $D_{T2}$  для  $\Gamma 1vi$ .

#### 4. Выводы

На основе методологии построения композитных систем документооборота [10] и концепции их построения [8] в настоящей статье представлена графовая модель его построения, которая учитывает декомпозицию потоков движения документов на множество участников процесса, множество состояний и множество действий.

В статье показаны пути детерминирования введенных множеств, предложена алгебра документооборота и введены операции алгебры, что может быть в дальнейшем применено для совершенствования теоретической базы документооборота.

На основании модели, введенной и описанной в настоящей статье, возможно построение прикладного программного обеспечения, которое будет использовать аппарат теории графов для решения практических задач документооборота предприятий и организаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теслер Г.С. Интенсификация процессов вычислений // Математичні машини і системи. – 1999. – № 2. – С. 25 – 37.
2. Толковый словарь по вычислительным системам: Пер. с англ. / Под ред. В. Иллингурта. – Машиностроение, 1991. – 560 с.
3. Заморин А.П., Марков А.С. Толковый словарь по вычислительной технике и программированию. – М.: Русский язык, 1988. – 221 с.
4. Справочник-словарь терминов АСУ / Сост. В.И. Вьюн, А.А. Кобозев, Т.А. Паничевская, Г.С. Теслер. – М.: Радио и связь, 1990. – 128 с.
5. Закон України про електронні документи та електронний документообіг // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2003. – № 36. – С. 275.
6. Круковский М.Ю. Концепция построения моделей композитного документооборота // Математичні машини і системи. – 2004. – № 2. – С. 149 – 163.
7. Глушков В.М. Введение в АСУ. – К.: Техніка, 1972. – 312 с.
8. Алферова З.В. Математическое обеспечение экономических расчетов с использованием теории графов. – М.: Статистика, 1974. – 208 с.
9. Hoffman M., Shute D., Ebberts M. Advanced Workflow Solutions. – New York: Redbooks IBM, 1999. – 141 p.
10. Круковский М.Ю. Методология построения композитных систем документооборота // Математичні машини і системи. – 2004. – № 1. – С. 101 – 114.
11. Anderson J.A. Discrete mathematics with combinatorics. – New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 807 p.
12. Казимир В.В. Верификация реактивных систем с помощью формул темпоральной логики на E-сетевых моделях // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 29 – 40.