

полноты или недостоверности информации. Эти задачи возникают при проведении исследований, запуске новых проектов, начале опытного производства и т.п. Сложность планирования и управления их выполнением заключается в невозможности заранее определить трудоемкость работ, сроки и необходимый персонал. В связи с этим распределение таких задач на уровне единого центра с использованием классических методов календарно-сетевое планирование затруднено.

Эта проблему можно решить путем организации кооперативного взаимодействия между высокомотивированными и квалифицированными исполнителями как на этапах планирования, так и в процессе исполнения работ по разным проектам, что обеспечит возможность уточнения требований в процессе выполнения работ. В данной статье описывается возможное решение по организации такого взаимодействия между центрами компетенций в едином информационном пространстве на основе получивших широкое распространение моделей Р2Р-сетей.

Р2Р-модели в сетевых системах управления организацией

В настоящее время многие промышленные предприятия внедряют матричную (сетевую) структуру системы управления для обеспечения наиболее эффективной хозяйственной деятельности. Вопросы построения таких систем управления рассматриваются в рамках теории управления организационными системами [1]. В частности, теория иерархических систем управления [2] изучает проблемы принятия решений в условиях неопределенности в организационных системах различного вида.

Таким образом, актуальной задачей является изучение особенностей взаимодействия подразделений предприятия с высокой степенью автономности как между собой, так и с единым центром управления, с целью обеспечения эффективности работы предприятия в целом. Для моделирования такого взаимодействия в современной научной литературе [3-4] часто предлагаются Р2Р (peer-to-peer, равный с равным) модели взаимодействия для реализации сетевой структуры системы управления в интегрированной информационной среде.

Участниками Р2Р-сети являются пиры, которые с точки зрения организации являются исполнителями, а с точки зрения информационной среды – акторами [5]. Акторами могут быть подразделения или сотрудники предприятия, обладающие определенной автономностью по

принятию решений и способные использовать собственные ресурсы для исполнения определенных задач.

Следующие свойства Р2Р-сетей позволяют их использовать для моделирования сетевых систем управления:

- децентрализация, то есть отсутствие единственного контролирующего органа – ответственность разнесена по центрам компетенции;

- заимствование ресурсов и услуг: реализуемые при матричной структуре управления проекты задействуют ресурсы (людские, технологические и т.д.) из разных центров компетенций, например, в коллективах, занимающихся разработкой наукоемкой продукции, могут формироваться команды из разных отделов согласно требуемым знаниям и навыкам;

- автономность: способность каждого сотрудника самостоятельно определять, какие ресурсы доступны для других, а какие нет.

При исследовании Р2Р-моделей системы управления сетевой организации следует учесть, что в процессе планирования и исполнения заданий акторы должны обладать определенной свободой взаимодействия. Услуги, предоставляемые Р2Р-системами, являются как целью, так и средством построения и предсказания и поведения самоорганизующихся сообществ [6]. Р2Р-сеть формируется и изменяется динамически. В процессе проектной деятельности коллектив перестраивается, также как при добавлении/удалении элементов Р2Р-сети, а при решении совместных задач изменяются взаимоотношения между сотрудниками, что соответствует изменению Р2Р-связей.

Таким образом, модель Р2Р-сети позволяет описать процесс взаимодействия в организации с сетевой структурой управления. В процессе планирования проекта центр распределяет задачи между исполнителями – центрами разных компетенций с достаточно высокой степенью автономности. Сотрудники подразделений в этих центрах – акторы – в процессе Р2Р-взаимодействия могут декомпозировать задачи и передавать друг другу частные задания в процессе планирования и исполнения работы по проекту. Для этого акторы реализуют взаимный поиск в Р2Р-сети и распределение заданий между соисполнителями.

Такой подход обуславливает появление новых требований к программному и организационному обеспечению интеллектуальных систем поддержки принятия решений, планирования и управления взаимодействием персонала предприятий в условиях высокой динамики внешних событий. В связи с этим

актуальной является задача разработки новых моделей, алгоритмов и программного обеспечения для системного анализа, обработки информации и управления Р2Р-взаимодействием персонала предприятия при планировании и исполнении текущих задач.

Организация Р2Р-аутсорсинга

Рассмотрим Р2Р-сеть, которая обеспечивает возможность предоставления акторами друг другу услуг по выполнению работы по проекту в качестве соисполнителей или консультантов. В процессе планирования своей работы исполнители могут сконцентрироваться на своих ключевых навыках и умениях, за счет чего повышается мотивация исполнителей и снижается стоимость реализации проекта в целом.

При начальном планировании работ принято трудоемкости задач оценивать качественно по критериям «сложность/ важность/ неопределенность» и количественно (в человеко-днях или условных единицах). Будем считать, что исполнитель, получающий задачи в соответствии со своим профилем, будет выполнять работу более эффективно, а следовательно, дешевле.

Целью такой Р2Р-сети является обеспечить своевременное решение поставленных задач (комплексных и декомпозированных простых) с минимальной себестоимостью, то есть:

$$C_{\Sigma} - \sum_{i=1}^{N_{\tau}} c_{i,n} \rightarrow \max; \quad \max(t^*_{i,n}) < T, \quad (1)$$

где c_i – стоимость выполнения задачи τ_i некоторым исполнителем u_n ; $i = 1 \dots N_{\tau}$ – индекс каждой выданной задачи; $t^*_{i,n}$ – время завершения задачи τ_i ; T – плановое время выполнения проекта; C_{Σ} – бюджет проекта.

Каждый актор после получения задачи может запланировать ее решение с помощью собственных ресурсов либо разделить ее на несколько других задач (декомпозировать) и передать часть новых задач другим соисполнителям (акторам). Передача задачи от одного актора к другому будем называть аутсорсингом.

Сформулируем задачу аутсорсинга в Р2Р-сети: необходимо обеспечить повышение качества и сокращение расходов на выполнения комплексных задач с неизвестным уровнем вложенности в заданных временных рамках за счет декомпозиции сложных задач на более простые и передачи их между акторами для исполнения.

Выделим основные события в такой сети. Событию предложения новой задачи исполнителям поставим в соответствие булеву переменную:

$$e_{i,m,n}(\tau_i, u_m, u_n, t_{i,n}) \in \{0,1\}, \quad (2)$$

где u_m – акторы-инициаторы, $m = 0 \dots M_u$; u_n – акторы-претенденты; $n = 1 \dots M_u$; $t_{i,n}$ – время возникновения события, случай $m = 0$ соответствует первоначальному распределению задач центром; u_0 – центр, инициирующий планирование, например руководитель проекта.

Актор u_n может согласиться на исполнение задачи или ответить отказом. При этом возможна организация серии итераций Р2Р-переговоров между инициатором и каждый претендентом по согласованию стоимости c_i и времени завершения $t^*_{i,n}$. Событие выбора инициатором одного из акторов-претендентов в качестве исполнителя (планирования задачи) обозначим

$$e'_{i,m,n}(\tau_i, u_m, u_n, t'_{i,n}) \in \{0,1\}. \quad (3)$$

В процессе планирования актор может декомпозировать задачу на подзадачи:

$$e''_{i,m}(\tau_i, \{\tau_j\}, u_m, t''_{i,m}) \in \{0,1\}, \quad (4)$$

где τ_j – набор подзадач. Часть подзадач актор, выполнивший декомпозицию, предлагает на исполнение другим акторам, то есть инициирует новые события $e_{j,m,n}$.

Декомпозиция производится как с целью более точного распределения имеющихся у актора ресурсов при планировании задачи, так и для ее частичной передачи другим исполнителям. Будем считать, что распределение подзадач, полученных в ходе декомпозиции, соисполнителям происходит после того, как задача была запланирована (в противном случае необходимо рассматривать циклы планирования, возникающие при множественной последовательной декомпозиции). Ответственность за выполнение задачи сохраняется за основным исполнителем, а к ее решению могут быть привлечены другие сотрудники или сторонние организации, обладающие соответствующими компетенциями и навыками.

С учетом введенных обозначений задачу (1) можно представить в виде задачи Р2Р-аутсорсинга:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{N_{\tau}} \sum_{m=0}^{N_u} \sum_{n=1}^{N_u} c_{i,n} e'_{i,m,n} (1 - e''_{i,m}) \rightarrow \min; \\ & \forall \tau_i : t^*_{i,n} < T, \\ & \sum_{i=1}^{N_{\tau}} \sum_{m=0}^{N_u} \sum_{n=1}^{N_u} e_{i,m,n} (1 - e'_{i,m,n}) = 0; \\ & \sum_{i=1}^{N_{\tau}} \sum_{m=0}^{N_u} \left(c_{i,m} - \sum_{j=1}^{N_{\tau}} \sum_{n=1}^{N_u} c_{j,n} e'_{i,m,n} \right) e''_{i,m} \geq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Это означает, что суммарная стоимость атомарных задач должна быть минимальной, при этом все задачи должны быть запланированы только на один ресурс и в срок. При декомпозиции задачи каждый актер должен обеспечивать такое планирование подзадач, при котором их суммарная стоимость не будет большей плановой стоимости родительской задачи.

Отметим, что в данном контексте не учитывается последовательность задач, так как актеры обладают в общем случае неопределенным ресурсом, а трудоемкость задачи точно оценить нельзя. Эта неопределенность не позволяет решить данную задачу непосредственно, так как последовательность событий $e''_{i,m,n}$ определяется в процессе исполнения проекта в ограничениях, взятых на себя обязательств акторами.

Для решения этой проблемы с учетом (1) и (5) предлагается определить следующую цель актера u_m :

$$\sum_{i=1}^{N_\tau} \sum_{l=1}^{N_u} c_{i,m} e'_{i,l,m} (1 - e''_{i,m}) + \sum_{i=1}^{N_\tau} \sum_{l=1}^{N_u} \left(c_{i,m} e'_{i,l,m} - \sum_{j=1}^{N_\tau} \sum_{n=1}^{N_u} c_{j,n} e'_{i,m,n} \right) e''_{i,m} \rightarrow \max,$$

после упрощения:

$$\sum_{i=1}^{N_\tau} \sum_{l=1}^{N_u} \left(c_{i,m} e'_{i,l,m} - e''_{i,m} \sum_{j=1}^{N_\tau} \sum_{n=1}^{N_u} c_{j,n} e'_{i,m,n} \right) \rightarrow \max. \quad (6)$$

В задаче P2P-аутсорсинга актеры являются активными и автономными: вопрос выбора между планированием и декомпозицией задачи (может быть несколько уровней вложенности) решается актором самостоятельно: выполнить поставленную задачу самостоятельно или отдать ее на аутсорсинг.

Применение принципов аутсорсинга при решении комплексных задач позволяет рассчитывать не только на более качественную, но и на более быструю реализацию.

Управление P2P-аутсорсингом

При организации межсетевого P2P-взаимодействия на принципах аутсорсинга одним из ключевых показателей является стоимость выполнения задач. Проблема выбора между более дешевым, но менее компетентным ресурсом и наоборот с учетом загрузки всех имеющихся ресурсов остается основной проблемой планирования и распределения ресурсов.

В задаче (6) актер, взявший задачу на исполнение, либо выполняет ее полностью, либо выдает

одну или несколько подзадач на аутсорсинг: при этом он стремится найти соисполнителей на конкурсной основе по наименьшей стоимости для максимизации своей прибыли. Таким образом, происходит не директивное, а договорное исполнение, свойственное взаимоотношениям внутри P2P-сети.

Исходя из особенностей такого рода задач для их решения целесообразно использовать модели контрактов [7] и аукционов [8]. Реализуем систему управления P2P-аутсорсинга на основе итерационного аукциона.

Аукционом будем называть публичную продажу лота по заранее установленным правилам, определяемым инициатором перед началом аукциона. Аукцион проводится в несколько этапов / итераций. Роль инициатора (диспетчера) будет выполнять актер в момент декомпозиции задачи: при этом он в разные моменты времени выставляет подзадачи (лоты), интересные другим актерам в разной степени. При проведении торгов диспетчер может выбирать различные формы аукциона (в зависимости от решаемой задачи). В качестве основного механизма управления распределением подзадач будем использовать варьирование интервалов времени торгов по каждому лоту.

Для каждой задачи τ_i , выносимой на аутсорсинг, рассмотрим единичный лот с базовой ценой $q(0)_{i,n}$, определяемой в начале торгов, $n = 1 \dots N_u$, где N_u – общее число акторов, участвующих в аукционе. Аукцион проводится в несколько итераций с номерами $k_i = 1 \dots M_{i,k}$, каждая из которых начинается с рассылки предложений от диспетчера индивидуально каждому актору-претенденту. Таким образом, для события $e_{i,m,n}(\tau_i, u_m, u_n, t_{i,n})$ в моменты времени $t_{i,n}^{(k)}$ формируются лоты:

$$s_{i,n}^{(k)} = \{ q_{i,n}^{(k)}, t_{i,n}^{(k)} \}, \quad (7)$$

где $q_{i,n}^{(k)}$ – стоимость лота, предложенная претенденту u_n на итерации k ; $t_{i,n}^{(k)}$ – момент сообщения о предложении.

Каждая итерация имеет продолжительность $\Delta t_{i,k}$, в течение этого периода времени акторы-претенденты присылают свои предложения. Актер u_n может согласиться на исполнение задачи или отказать. Будем считать отказом отсутствие ответа в течение некоторого интервала времени, а согласием сообщение:

$$b_{i,n}^{(k)} = \{ q_{i,n}^{(k)}, t_{i,n}^{(k)} \}, \quad (8)$$

где $q_{i,n}^{(k)}$ – стоимость лота, на которую соглашается претендент u_n на итерации k ; $t_{i,n}^{(k)}$ –

момент сообщения о согласии. Время обдумывания ставки актором можно определить как $t_{i,n}^{(k)} - t_{i,n}^{(k-1)}$; $t_{i,n}^{(k)} < t_{i,n}^{(k+1)}$.

Актор-инициатор, решивший отдать часть своей задачи на аутсорсинг, становится диспетчером аукционов на каждую из декомпозированных задач, передаваемых соисполнителям.

По результатам каждой итерации диспетчером объявляется решение (одному или нескольким акторам) о назначении новой стоимости лота $q_{i,n}^{(k)}$, которая выбирается равной минимальной среди всех предложенных либо уменьшенной на некоторую величину.

Аукцион заканчивается отправлением сообщения диспетчера актору-победителю с ценой $q_{i,n}^{(k)} i_n = q_{i,n}^{(k-1)} i_n = c_{i,n}$. Этот момент соответствует событию $e'_{i,m,n}(\tau_i, u_m, u_n, t'_{i,n})$.

Поскольку целью введения аукциона является обеспечение управляемой инициатором конкурентной борьбы акторов-претендентов за задачи, приращение может быть организовано двумя способами:

- поэтапное повышение цены:

$$q_{i,n}^{(0)} \geq 0, \quad q_{i,n}^{(k+1)} = q_{i,n}^{(k)} + \Delta q_{i,n}^{(k)}, \quad t_{i,n}^{(k+1)} = t_{i,n}^{(k)} + \Delta t_{i,n}^{(k)};$$

- поэтапное снижение цены:

$$q_{i,n}^{(0)} \leq c_{i,m}, \quad q_{i,n}^{(k+1)} = q_{i,n}^{(k)} - \Delta q_{i,n}^{(k)}, \quad t_{i,n}^{(k+1)} = t_{i,n}^{(k)} + \Delta t_{i,n}^{(k)},$$

где $c_{i,m}$ – цена самостоятельного исполнения инициатора, нестрогое равенство показывает, что для сокращения количества итераций начальная цена может отличаться от предельных значений.

Стратегия повышения позволяет максимально приблизиться к оптимальной цене: инициатор будет постоянно увеличивать цену, пока не согласится первый претендент. Однако это выжидательная стратегия: чем больше продолжительность итерации $\Delta t_{i,n}^{(k)}$, тем выше вероятность согласия. В свою очередь, стратегия снижения позволяет быстрее получить исполнителя, а инициаторы заинтересованы бороться за снижение цены, так как это повышает их конкурентоспособность. В этом случае инициатор имеет больше возможностей по управлению аукционом.

В ответ на каждое событие $s_{i,n}^{(k)}$ диспетчер получает поток событий $b_{i,n}^{(k)}$. Следующее предложение $s_{i,n}^{(k+1)}$ зависит от поступающих сообщений и определяется стратегией повышения или снижения цены. Для определения стратегий диспетчера или претендентов можно предложить различные эвристики, определяемые структурой многоакторной среды. Например, актор может

стремиться выполнить работу самостоятельно или максимально распределять ее между соисполнителями, в том числе используя спекулятивные стратегии. Актор в роли инициатора, изменяя интервалы продолжительности итераций и приращения цены, может поощрять конкуренцию или бороться со спекулятивными тенденциями. Каждый актор-претендент также может управлять размером и временем предложения, обеспечивая таким образом интерес к себе со стороны диспетчера.

Отметим, что управление в данном случае производится путем изменения комбинации двух параметров: приращения цены и продолжительности итерации, в соответствии с методами управления обстоятельствами [5].

Рассмотрим случай поэтапного снижения цены. Для получения минимальной цены лота от акторов диспетчеру необходимо организовать соревновательный процесс между акторами, для чего необходимо разработать план по рассылке предложений $s_{i,n}^{(k)}$. При формировании плана по рассылке предложений диспетчер может уменьшать время последующей итерации пропорционально изменению уровня ставки (чем меньше приращение цены, тем быстрее диспетчер проводит итерации):

$$\Delta t_{i,n}^{(k+1)} = \Delta t_{i,n}^{(k)} \alpha_i \frac{|q_{i,n}^{(k)} - q_{i,n}^{(k+1)}|}{q_{i,n}^{(k)}}, \quad (9)$$

$$q_{i,n}^{(k+1)} = \min(q_{i,n}^{(k+1)}),$$

где α_i – масштабирующий коэффициент, определяемый экспертом для каждой задачи на основе данных о сложности оценки ее трудоемкости.

В результате конкурентного состязания между собой акторы будут снижать цену $q_{i,n}^{(k)}$, добиваясь при этом максимально возможного ее значения. То есть они будут вынуждены обеспечивать условия:

$$\sum_{i=1}^{N_\tau} \sum_{l=1}^{N_u} c_{i,m} e'_{i,l,m} \rightarrow \max; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{N_\tau} e''_{i,m} \sum_{j=1}^{N_\tau} \sum_{n=1}^{N_u} c_{j,n} e'_{i,m,n} \rightarrow \min,$$

что соответствует цели (6). Реализация аукциона для решения задачи P2P-аутсорсинга может быть выполнена как в подсистеме планирования и задачи задач (заданий) Workflow в интегрированной информационной среде предприятия, так и с помощью интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

Пример реализации

Приведем пример решения задачи P2P-аутсорсинга для вертикально интегрированной нефтяной компании, имеющую матричную организационную структуру. Для управления данной структурой выделена отдельная управляющая компания, а организации, отвечающие за разные стадии жизненного цикла продукции, обладают определенной автономностью. Компания делится на подразделения и департаменты с вложенным подчинением, постановка целей в организации происходит сверху вниз путем каскадирования целей. Это свидетельствует о возможности и необходимости применения сетевой системы организационного управления. В качестве исходных параметров для анализа процессов взаимодействия персонала предприятия были выбраны количественные и временные характеристики проектных заданий.

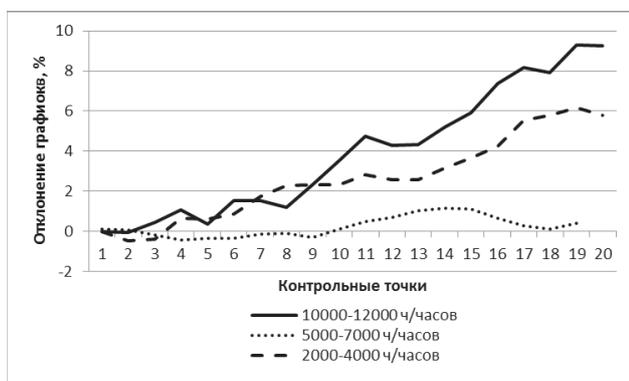


Рис. 1. Нагонные графики проектов

В качестве пилотных проектов были выбраны три комплексных проекта с разной трудоемкостью. В разработке каждого из проектов принимало участие по два отдела со стороны заказчика и сторонний исполнитель программной части. От каждого из исполнителей было задействовано от 1 до 5 сотрудников с разной степенью загруженности. Для сравнения были выбраны проекты с аналогичной трудоемкостью и схожим подбором исполнителей, реализованные за прошлые периоды до внедрения системы. Сравнение динамики отставания проектов от исходных планов-графиков по выбранным 20 контрольным точкам (см. рис. 1) показало, что использование предложенных моделей и методов позволяет сократить среднее время отставания в ходе выполнения проекта – причем данное преимущество становится более ощутимым на проектах с большей

трудоемкостью. Результаты исследования (см. рис. 2) также показали преимущество использования стратегии P2P-аутсорсинга акторами.



Рис. 2. Сравнение выигрышей акторов (у.е.)

Заключение

Технология P2P-аутсорсинга обеспечивает возможность построения сетевого управления в организации с матричной структурой и повышения эффективности распределения проектных и комплексных задач между исполнителями.

Литература

1. Бурков В.Н., Губко М.В., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями // Проблемы управления. № 4, 2012. – С. 2-10.
2. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.
3. Barkai D. Peer-to-peer computing. Technologies for sharing and collaboration on the net // Hillsboro, OR: Intel Press, 2002. – 332 p.
4. Schoder D., Fischbach K. Peer-to-peer prospects // Communications of the ACM. Vol. 46, №2, 2003. – P. 27-29.
5. Ивашенко А.В. Метод кондиционального управления взаимодействием в мультиагентной среде // Системы управления и информационные технологии. №1, 2013. – С. 39-43.
6. Antoniadis P., Le Grand B. Incentives for resource sharing in self-organized communities: from economics to social psychology // Digital Information Management. ICDIM, № 7, 2007. – P. 756-761.
7. Bolton P., Dewatripont M. Contract theory. Cambridge: MIT Press, 2005. – 688 p.
8. Krishna V. Auction theory: 2nd edition. Burlington, MA: Academic Press, 2009. – 336 p.