

## УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ УСЛУГ КОРПОРАТИВНОЙ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ КООРДИНАТОРА

Предложено осуществлять управление уровнем услуг в корпоративной ИТ-инфраструктуре посредством двухуровневой системы управления с координатором. Доказана целесообразность использования комбинированного принципа управления на основе обратной связи с учетом возмущающего воздействия. Показана возможность реализации принципа координации на основе системы правил.

Service level management of corporate IT infrastructures was considered. Architecture of the service level management system as a two-level system of IT infrastructure management with coordinator was offered. Appropriateness of combined management principle based on the feedback with consideration of disturbing action was proved. Implementation of the principle of coordination based on the system of rules was shown.

### Введение

Существенная зависимость успешности ведения бизнеса от качества и стабильности предоставления используемых ИТ-услуг делают для ИТ-департамента актуальным постоянное поддержание уровня ИТ-услуг на согласованном с бизнесом уровне [1]. Конкуренция на рынке ИТ-услуг, а также высокая стоимость ресурсов современных ИТ-инфраструктур, посредством которых предоставляются эти услуги, вынуждает ИТ-департамент изыскивать пути решения проблемы по обеспечению поддержания качества ИТ-услуг на согласованном уровне с минимальным количеством используемых для этого ресурсов ИТ-инфраструктуры. Основное направление решения данной проблемы связано с разработкой перспективных систем управления ИТ-инфраструктурой (СУИ), являющихся не столько инструментом автоматизации процессов управления, сколько средством повышения эффективности использования дорогостоящих информационно-телекоммуникационных ресурсов [2]. Внедрение систем проактивного управления распределенной ИТ-инфраструктурой позволяет существенно сократить затраты на ИТ, обеспечивая при этом стабильно высокое качество предоставляемых ИТ-сервисов. Для создания СУИ, ориентированной на управление качеством ИТ-услуг при рациональном использовании ресурсов ИТ-инфраструктуры, необходимо решение ряда задач, связанных, прежде всего, с разработкой методов управления уровнем ИТ-услуг. Поэтому данная статья, посвященная определению принципа построения и функционирования СУИ при управлении уровнем услуг, является актуальной.

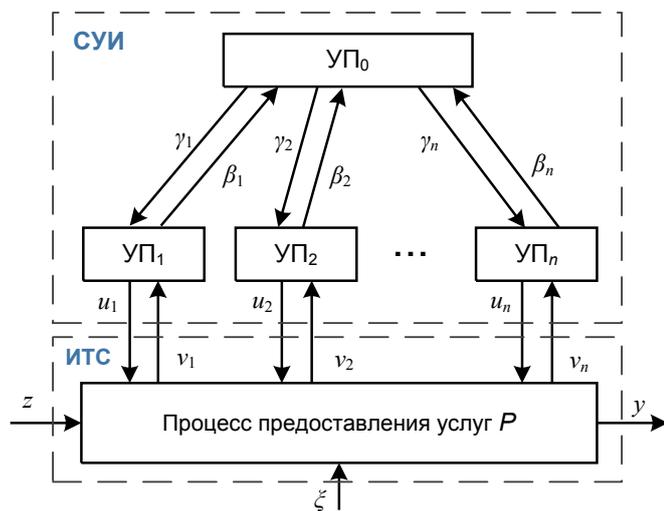
### Модель двухуровневой системы управления ИТ-инфраструктурой

В связи с тем, что в настоящее время исследование в области теории управления техническими системами акцентированы на многообъектности, распределенности, большой размерности, возникает потребность выделения специального класса многообъектных распределенных систем управления [3, 4], к которым относятся СУИ. Одним из важнейших вопросов, решаемых при проектировании и эксплуатации таких систем управления, кроме разработки архитектуры, является задача принятия решений. Сложность принятия решений в иерархических системах управления, таких как СУИ, обусловлена тем, что решения принимаются на большинстве уровней иерархии СУИ, а также с ограничением времени на принятие решения. В [4] задачи принятия решений с ограничением времени называются задачами принятия оперативных решений. В [5] предложено такие системы рассматривать как двухуровневые системы управления с координатором.

В [1] предложен декомпозиционно-компенсационный подход к управлению уровнем ИТ-услуг в корпоративных ИТ-инфраструктурах, предполагающий декомпозицию задач управления уровнем услуг и компенсацию негативного влияния различных факторов, таких, как увеличение количества пользователей, отказы в ИТ-инфраструктуре и пр., выделением дополнительных ресурсов критичным приложениям. Подход основан на интегрированном взаимодействии трех иерархических процессов — согласования уровня услуг, планирования ресурсов и управления уровнем услуг с учетом иерархии ИТ-инфраструктуры.

Для реализации этого подхода в данной статье предлагается строить СУИ в виде двухуровневой системы управления с координатором.

Основанием для выделения в СУИ двух уровней является то, что при управлении уровнем услуг СУИ функционирует в различных режимах в условиях неопределенности, неполноты и недостоверности информации, наличия факторов риска, множества конфликтующих критериев и целей подсистем СУИ. От таких систем управления требуется не достижение оптимального функционирования ИТ-инфраструктуры, что практически невозможно, а улучшение качественных характеристик работы ИТ-инфраструктуры. В таких случаях оправдано построение двухуровневых систем с координатором, когда координатор согласовывает самостоятельные решения и действия подсистем СУИ для улучшения работы ИТ-инфраструктуры в целом с точки зрения качества предоставляемых ИТ-услуг. При этом действия координатора должны быть направлены на улучшение глобальной функции качества предоставления услуг, а принятие им решений осуществляется в условиях неопределенности. На рис. 1 приведена модель СУИ, управляющей информационно-телекоммуникационной системой (ИТС), в виде двухуровневой системы с координатором [3, 5].



**Рис. 1. Представление СУИ в виде двухуровневой системы**

Расположение управляющих подсистем (УП) отображает иерархическую структуру СУИ. Модель состоит из вышерасположенной по иерархии управляющей подсистемы (УП₀),  $n$  нижерасположенных управляющих подсистем (УП₁, ..., УПₙ) и управляемого процесса  $P$ , протекающего в ИТ-инфраструктуре.

Взаимодействие УП по вертикали осуществляется следующим образом. Команды, сигналы, воздействия или вмешательства (входы)  $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ , передаваемые от УП₀ к УП₁, ..., УПₙ, являются координирующими. Командные сигналы или воздействия (входы)  $(u_1, \dots, u_n)$  от УП₁, ..., УПₙ к процессу  $P$  являются управляющими. Снизу вверх поступают сигналы обратной связи или информационные сигналы: от процесса  $P$  к УП₁, ..., УПₙ —  $v_1, \dots, v_n$ , и от управляющих подсистем к координатору —  $\beta_1, \dots, \beta_n$ . Описание двухуровневой СУИ может быть осуществлено посредством терминальных переменных (входов и выходов). В этом случае УП описываются как функциональные подсистемы, выходы которых однозначно определяются входами [5].

Процесс  $P$  можно описывать как управляемую подсистему, на которую воздействуют управляющие сигналы  $u$  от УП₁, ..., УПₙ,  $u \in U$ ,  $U$  — множество управляющих воздействий; поступают входные сигналы  $z$ ,  $z \in Z$ , представляющие собой запросы пользователей; и сигналы  $\xi$ ,  $\xi \in \Xi$ , являющиеся возмущающими воздействиями. К возмущающим воздействиям  $\Xi$  относятся неисправности в ИТ-инфраструктуре, функциональные отказы в элементах ИТ-инфраструктуры, запросы других пользователей, которые, являясь помехой для запросов рассматриваемых пользователей, затрудняют достижение целей управления. Выходом процесса  $P$  является  $y$ ,  $y \in Y$ , где  $Y$  — множество выходов процесса  $P$ , ответы ИТ-инфраструктуры на запросы пользователей.

Процесс  $P$  можно представить в виде следующего отображения на основе декартова произведения:

$$P : U \times Z \times \Xi \rightarrow Y. \tag{1}$$

Множество  $U$  управляющих сигналов, воздействующих на процесс  $P$  со стороны УП₁, ..., УПₙ, удобно представлять в виде декартова произведения  $n$  множеств [3, 5]

$$U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n. \tag{2}$$

При этом каждая  $g$ -я управляющая подсистема УП $_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , обладает полномочиями выбора  $g$ -й компоненты  $u_g$  управляющего воздействия  $u$  для оказания непосредственного влияния на процесс  $P$ .

На входы каждой  $g$ -й управляющей подсистемы УП $_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , поступают два сигнала: координирующий сигнал  $\gamma_g \in \Gamma$  от УП₀ и ин-

формационный сигнал обратной связи  $v_g$  в виде данных мониторинга. Управляющим выходом  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , является воздействие  $u_g$ , выбираемое  $УП_g$  из множества  $U_g$ . Предположим, что каждая из  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , реализует отображение  $C_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , такое, что

$$C_g : \Gamma \times V_g \rightarrow U_g, \quad (3)$$

где  $V_g$  — множество данных мониторинга  $v_g$ , поступающих в СУИ от ИТ-инфраструктуры,  $v_g \in V_g$ . Данные мониторинга  $V_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , являются сигналами обратной связи для локального контура управления на основе  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ .

Сигналы обратной связи  $v_g$ , поступающие на вход  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , получены в результате мониторинга ИТ-инфраструктуры. Они содержат информацию относительно протекания процесса  $P$ . Естественно, эти сигналы функционально зависят от управляющих сигналов  $u$ , входов  $z$ , возмущений  $\xi$  и выходов  $y$ . Эту зависимость можно представить отображением [3, 5]

$$f_g : U \times Z \times \Xi \times Y \rightarrow V_g. \quad (4)$$

Управляющая подсистема  $УП_0$  является координатором и вырабатывает координирующие сигналы  $\gamma_g \in \Gamma$ ,  $g = \overline{1, n}$ , причем сигнал  $\gamma_g$  с  $g$ -го выхода  $УП_0$  поступает только на  $g$ -й вход нижерасположенной управляющей подсистемы  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ . Координатор  $УП_0$  вырабатывает сигнал на основе анализа информации, поступающей на его вход от  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , и представляющей собой сигналы обратной связи и обобщенную информацию о состоянии и функционировании ИТ-инфраструктуры. В таком случае можно считать, что в координаторе реализуется отображение  $C_0$  такое, что

$$C_0 : B \rightarrow \Gamma, \quad (5)$$

где  $B$  — множество информационных сигналов  $\beta$ , реализующих обратную связь. Причем  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$  представляет собой совокупность сигналов  $\beta_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , обратной связи, поступающих в координатор  $УП_0$  от подсистем  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ .

Аналогично (4) сигнал обратной связи  $\beta$ , поступающий в  $УП_0$ , несет в себе информацию о состоянии всех нижерасположенных подсистем, поэтому он определяется отображением

$$f_0 : \Gamma \times V \times U \rightarrow B, \quad (6)$$

где  $V = V_1 \times \dots \times V_n$ . Таким образом,  $B$  является функцией координирующих сигналов  $\gamma_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , сигналов обратной связи  $v = (v_1, \dots, v_n)$ , поступающих в  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , и управляющих воздействий  $u = (u_1, \dots, u_n)$ .

На модели, изображенной на рис. 1, не показано в явном виде взаимодействие между подсистемами  $УП_1, \dots, УП_n$ , а также не показано и непосредственное влияние  $УП_0$  на функционирование ИТ-инфраструктуры и получение координатором  $УП_0$  сигналов обратной связи непосредственно от элементов ИТ-инфраструктуры, что имеет место в реальных СУИ.

В соответствии с [5] координация заключается в воздействии на подсистемы управления  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , заставляющем действовать их согласованно, подчиняя действия  $УП$  единой политике, ориентированной на достижение глобальной цели системы, несмотря на то, что эта цель может противоречить локальным целям подсистем. Координацию осуществляет  $УП_0$ , причем именно координатор должен преодолеть противоречия между локальными целями подсистем  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ .

Успешность деятельности координатора по организации согласованных действий  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , оценивается тем, насколько успешно достигается глобальная цель управления ИТ-инфраструктурой. Достижение цели координатором можно рассматривать как решение задачи, которая формализуется как задача принятия решения и заключается в оценке результативности координации. Поскольку эта задача определяется относительно всех подсистем управления, включая протекающий в ИТ-инфраструктуре процесс  $P$ , то она называется глобальной решаемой задачей [3, 5].

Для двухуровневых систем должны быть обеспечены координируемость по отношению к задаче, решаемой  $УП_0$ , и координируемость по отношению к глобальной задаче [5]. Первое означает, что сигналы  $УП_0$  оказывают координирующее воздействие на задачи, решаемые  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , а второе, что координатор способен влиять на  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , так, что их совместное воздействие на процесс  $P$  направлено на решение глобальной задачи.

Успешное функционирование СУИ, отвечающей двухуровневой модели, может быть

обеспечено только тогда, когда цели подсистем согласованы между собой и согласованы с глобальной целью системы [3, 5]. В двухуровневой системе выделяют три типа целей (задач): глобальную цель, цель координатора  $УП_0$  и цели управляющих подсистем  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , а необходимость совместимости целей или задач вытекает из следующих особенностей. На процесс  $P$  непосредственно воздействуют только  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , поэтому глобальная цель может быть достигнута только опосредованно через действия  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , которые должны быть скорректированы относительно глобальной цели, а также цели координатора. Глобальная цель — повышение эффективности выполнения бизнес-процессов, выходит за рамки непосредственной деятельности двухуровневой системы, приведенной на рис. 1, и ни одна из подсистем  $УП_g$ ,  $g = \overline{0, n}$ , не ориентирована на достижение глобальной цели или решение глобальной задачи. Глобальная задача может быть решена только совместными воздействиями всех управляющих подсистем  $УП_g$ ,  $g = \overline{0, n}$ .

*Глобальная цель.* Учитывая тот факт, что ИТ-инфраструктуры создаются для повышения эффективности производственных и бизнес-процессов, глобальную цель СУИ можно определить как обеспечение максимального качества  $Q$  ИТ-сервисов с минимальными затратами  $C$ . Так, целью процессного управления в соответствии с ITSM и ISO является постоянное повышение уровня ИТ-услуг [6, 7, 8], что формально можно записать как  $\max Q$ .

Максимальное качество предоставления услуг ИТ-инфраструктурой будет достигаться в том случае, когда

$$\max Q \Leftrightarrow \max Q_i, \forall i = \overline{1, K} \Leftrightarrow \max q_{ki}, \quad (7)$$

$$\forall i = \overline{1, K}, \forall k = \overline{1, M_i},$$

где  $Q_i, i = \overline{1, K}$  — качество  $i$ -й услуги;  $q_{ki}, k = \overline{1, M_i}$  — значение  $k$ -го показателя качества  $i$ -й услуги.

Для достижения цели процессного управления необходимо непрерывно наращивать ресурсы ИТ-инфраструктуры, что неприемлемо прежде всего с экономической точки зрения. С другой стороны, повышение экономической эффективности ведения бизнеса требует сокращения затрат на ИТ-инфраструктуру, т. е. действий, нацеленных на достижение  $\min C$ .

Поддержание качества услуг на этом уровне является основной задачей координатора.

*Цель координатора.* Целью координатора является поддержание качества  $Q$  услуг на согласованном уровне с минимальными затратами  $C$  на задействуемые ресурсы. Цель координатора можно формализовать следующим образом

$$Q = \text{const} \Big|_{\min C}. \quad (8)$$

Выражение (8) означает, что координатор из всех возможных вмешательств будет выбирать такие, которые требуют минимальной стоимости реализации.

Требование поддержания согласованного уровня услуг касается всех услуг и отдельных показателей качества услуг:

$$Q = \text{const} \Leftrightarrow Q_i = \text{const}, \forall i = \overline{1, K} \Leftrightarrow q_{ki} = \text{const}, \forall k = \overline{1, M_i}, \forall i = \overline{1, K}. \quad (9)$$

Здесь необходимо оговорить следующее обстоятельство. Основным способом повышения качества  $i$ -й услуги,  $i = \overline{1, K}$ , является выделение дополнительных ресурсов приложениям, поддерживающим работу  $i$ -й услуги. При превышении уровнем  $i$ -й услуги целевого значения производится сокращение ресурсов, выделенных соответствующим приложениям, как этого требует критерий  $\min C$ . В то же время, последний сервер, предоставляющий  $i$ -ю услугу, не может быть отключен, несмотря на то, что качество этой услуги по-прежнему выше требуемого, поскольку это приведет к полному прекращению предоставления услуги. Таким образом, всегда будет какой-то фиксированный минимум затрат  $C$ , после чего дальнейшее сокращение затрат будет невозможно.

*Локальные цели.* Целью локального управления является поддержание заданных значений параметров функционирования ИТ-инфраструктуры с минимальными затратами, т. е.

$$q_{ki} = \text{const} \Big|_{\min C}, \forall k = \overline{1, M_i}, \forall i = \overline{1, K}. \quad (10)$$

В модели СУИ, приведенной на рис. 1, управляющие подсистемы  $УП_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ , могут иметь собственные различающиеся цели функционирования.

### Определение принципа координации и синтез координатора

Выполнение требований координируемости и совместимости выступает ограничением при определении стратегий, которыми может руко-

водствоваться координатор. Предложенные в [3, 5] принципы координации, основанные на постулате совместимости, не могут быть использованы в СУИ, поскольку они предполагают либо получение и использование точного прогноза значений параметров процесса  $P$ , либо требуют знания вида функций или аналитических выражений для решения задачи координации. Для решения проблемы координации необходимо после декомпозиции глобальной задачи произвести синтез координатора и определиться с методами, процедурами или алгоритмами координации.

Перепишем цель (9) координатора в следующем виде:

$$\begin{aligned} \min \Delta Q_i &= \min(Q_i - Q_i^*), \forall i = \overline{1, K} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \min \Delta q_{ki} &= \min(q_{ki} - q_{ki}^*), \quad (10) \\ \forall k &= \overline{1, M_i}, \forall i = \overline{1, K}, \end{aligned}$$

где  $Q_i$  и  $Q_i^*$  — целевое и фактическое значение качества  $i$ -й услуги;  $q_{ki}$  и  $q_{ki}^*$  — целевое и фактическое значение показателя качества  $i$ -й услуги, причем фактическое качество считаем хуже требуемого при  $Q_i > Q_i^*$  и, соответственно, при  $q_{ki} > q_{ki}^*$ .

На входы процесса  $P$  поступают управляющие и возмущающие воздействия, а задача СУИ сводится к выбору управления, противодействующего возмущению. Исходя из (11), координатор должен сравнивать текущие значения показателей качества  $q_{ki}^*$ ,  $k = \overline{1, M_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ , услуг, предоставляемых процессом  $P$  пользователям, с целевыми значениями  $q_{ki}$ ,

$k = \overline{1, M_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ , и вырабатывать координирующие сигналы, минимизирующие отклонение. При управлении, направленном на поддержание согласованного уровня, естественным является использование принципа управления по отклонению [9]. В этом случае выходы процесса  $P$  после соответствующих преобразований, заключающихся в сведении метрик для определения значений  $q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, M_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ , по цепи обратной связи поступают в координатор, где сравниваются с целевыми значениями. На основании отклонения  $\Delta q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, M_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ , вырабатываются координирующие сигналы для УП $_g$ ,  $g = \overline{1, n}$ .

В СУИ могут быть измерены основные возмущающие воздействия, к которым относится количество  $\hat{a} = \{a_l, l = \overline{1, L}\}$  пользователей услуг, влияние неисправностей на качество сервиса, загруженность каналов связи и др. Это позволяет совместно с управлением по отклонению использовать принцип управления по возмущению и реализовать в СУИ комбинированное управление, при этом больший вес имеет управление по отклонению. На рис. 2 приведен результат декомпозиции координатора, реализующего комбинированный принцип управления уровнем услуг.

Координатор на рис. 2 содержит контур отрицательной обратной связи и цепи для компенсации возмущающих воздействий  $\xi \in \Xi$ . Компенсационный контур оценивает основные возмущения, которые учитываются при выборе корректирующих сигналов.

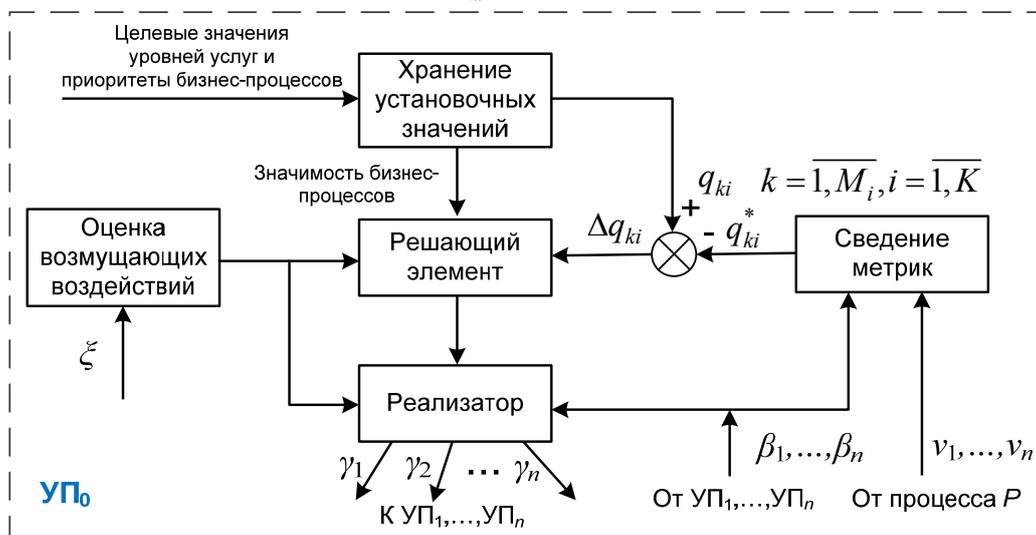


Рис. 2. Структура координатора, использующего обратную связь и учитывающего возмущающие воздействия

Глобальная цель управления ИТ-инфраструктурой может изменяться, что проявляется для координатора изменением приоритетов  $Pr$  приложений  $\{A_l, l = \overline{1, I}\}$  и целевых значений  $Q_i, i = \overline{1, K}$  уровня услуг. В этом случае выражение (5) примет вид:

$$C_0 : Pr \times Q_i \times B \times V \times \Xi \rightarrow \Gamma, i = \overline{1, K}. \quad (12)$$

После определения принципа управления необходимо определить стратегию и правила координатора, а также условия применения стратегии или правил.

Выбор координирующего воздействия определяет система

$$\langle Pr, \Delta \hat{q}, B, V, \Xi, \mathcal{N} \rangle, \quad (13)$$

где  $\Delta \hat{q}$  — вектор отклонения;  $\mathcal{N}$  — ситуационная неопределенность.

Проанализируем систему (13). Приоритеты  $Pr$  приложениям задаются подсистемой управления производительностью выполнения бизнеса (BPM) и принимают значения из множества  $\{1, 2, \dots, Pr_m\}$ , где  $Pr_m$  — максимальное значение приоритета. В процессе функционирования ИТ-инфраструктуры приоритеты приложений  $Pr$  изменяются, отслеживая изменения значимости бизнес-процессов.

Для характеристики степени отклонения значений элементов вектора  $\Delta \hat{q} = (\Delta q_{1,1}, \dots, \Delta q_{k,i}, \dots, \Delta q_{M_K, K})$  от целевых значений по аналогии с [10] введем функцию  $w(\Delta q_{ki})$ ,  $\forall k = \overline{1, M_i}, \forall i = \overline{1, K}$ , принимающую значения на отрезке  $[-1, 1]$  и определяющую степень близости фактического уровня качества к целевым значениям

$$w(\Delta q_{k,i}) = (q_{ki} - q_{ki}^*) / q_{кр_{k,i}}, \quad (14)$$

где  $q_{кр_{k,i}}$  — критическое значение показателя качества  $i$ -й услуги, при котором качество считается неудовлетворительным. Причем при  $w(\Delta q_{k,i}) \in (0, 1]$  фактическое значение показателя качества  $i$ -й услуги лучше, чем требуемое, при  $w(\Delta q_{k,i}) \in [-1, 0)$  качество услуги хуже согласованного.

Значения показателей качества  $q_{ki}$ ,  $\forall k = \overline{1, M_i}, i = \overline{1, K}$  от объема выделенных ресурсов  $r$  в общем виде можно представить следующей зависимостью:

$$q = f_{qr}(r), \quad (15)$$

где  $q$  — показатель качества услуги. Для увеличения значения показателя качества  $q$  соответствующему приложению из множества  $\{A_l\}$  необходимо выделить дополнительные ресурсы. Тогда новое значение  $q'$  показателя качества услуг

$$q' = f_{qr}(r + \Delta r). \quad (16)$$

Если  $\Delta r > 0$ , то  $q' \geq q$ , что позволяет говорить о монотонном характере функции  $f_{qr}$ .

Аналогичным образом можно утверждать, что функция

$$q = f_{qa}(\hat{a}) \quad (17)$$

также является монотонной.

Если функции (14) и (16) монотонные, то функция

$$q = f_q(r, \hat{a}) \quad (18)$$

также будет монотонной [1]. Здесь вектор  $\hat{a} = \{a_l, l = \overline{1, I}\}$  определяет текущее значение количества запросов к приложениям  $\{A_l, l = \overline{1, I}\}$ .

Из всех видов неопределенностей [11] наиболее характерной для ИТ-инфраструктуры являются ситуационная неопределенность  $\mathcal{N}$ , характеризуемая непредвиденной активностью и действиями пользователей, непрогнозируемостью нештатных ситуаций, трудностью определения реакции ресурсов на комбинацию воздействующих факторов. При этом возникает задача выработки координирующих  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$  и управляющих  $u = (u_1, \dots, u_n)$  воздействий по сигналам обратной связи  $v = (v_1, \dots, v_n)$  и  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$  при воздействии возмущений  $\xi \in \Xi$  в условии неопределенности  $\mathcal{N}$ . Поскольку в аналитическом виде определить соответствующее отображение не представляется возможным, то выходом из ситуации является использование итеративной процедуры координации [3, 5], предполагающей участие всех процессов и подсистем, реализующих управление уровнем услуг, приведенных на схемах на рис. 1 и рис. 2. Применение итеративной процедуры позволяет выработать приемлемые координирующие воздействия ввиду монотонности функций (15)—(18), а также монотонности влияния ситуационной неопределенности  $\mathcal{N}$  на уровень услуг. Таким образом, предлагается раскрытие неопределенности осуществлять использованием итеративных процедур управления.

Основная функция координатора заключается в согласовании деятельности УП<sub>g</sub>,  $g = \overline{1, n}$ , при генерации ими собственных решений так, чтобы повысить суммарный эффект от их совместных действий. Поэтому решения, принимаемые координатором, оказывают влияние на выбор координирующих, а не управляющих воздействий [5]. Для выбора координирующих воздействий необходимо определить принцип координации. В СУИ координирующие воздействия указывают на то, какому из УП<sub>g</sub>,  $g = \overline{1, n}$ , отдается предпочтение при восстановлении качества услуг и какие методы целесообразно

использовать (рис. 3). Например, при перегрузке каналов связи выделение дополнительных вычислительных ресурсов приложениям из множества  $\{A_i\}$  не восстановит уровень услуг. Поэтому координатор УП<sub>0</sub> сообщает УП<sub>g</sub>, отвечающей за управление потоками в сети, на необходимость ограничения исходящего трафика приложений из  $\{A_i\}$ , имеющих низший приоритет. Такую координацию можно реализовать, например, путем использования основанного на системе продукций принципа координации. Правила в нотации Бэкуса-Наура [12] имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 < \text{система\_правил} > ::= [ < \text{продукция} > ] \\
 < \text{продукция} > ::= < \text{условие} > \rightarrow < \text{следствие} > \\
 < \text{условие} > ::= [ < \text{простое\_условие} > ] \\
 < \text{простое\_условие} > ::= < \text{объект} > < \text{атрибут} > < \text{предикат} > < \text{значение} > \\
 < \text{объект} > ::= УП_g, \quad i = \overline{1, n} \\
 < \text{следствие} > ::= [ < \text{указание} > | < \text{формула} > | < \text{программа} > ] \\
 < \text{предикат} > ::= = | \neq | < > | \leq | \geq \\
 < \text{атрибут} > ::= < \text{приложение} > | < \text{приоритет\_приложения} > | < \text{услуга} > | \\
 < \text{бизнес\_процесс} > | < \text{важность\_процесса} > | < \text{параметр} > | < \text{статус\_ИТС} > .
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Применение основанного на продукциях принципа координации оправдано в случаях, когда ставится цель улучшения качества предоставления услуг, а не достижения оптимальных показателей функционирования ИТ-

инфраструктуры, в условиях недостаточности информации о факторах, влияющих на результаты координирующих и управляющих воздействий.



Рис. 3. Пример выбора действий УП<sub>g</sub>,  $g = \overline{1, n}$ , в зависимости от значения функции  $w(\Delta q_{ki})$

Отображение (5) может иметь очень сложный вид, а для системы (13) результирующую взаимосвязь между координирующими  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ , управляющими  $u = (u_1, \dots, u_n)$  воздействиями и выходом процесса  $P$  получить аналитически невозможно. В этом случае можно использовать программное управление [13].

Основными процедурами координации являются использование итеративных процедур по улучшению координирующих сигналов на основании анализа результатов координации либо использование обратной связи для коррекции координирующего сигнала [5]. Целесообразно применять комбинацию этих типов

процедур. В обоих случаях для определения сигнала ошибки при оценке воздействия необходимо произвести сведение метрик, измеряемых на уровне процесса  $P$ , к метрикам, которыми оперирует координатор [14, 15].

Необходимо отметить, что координатор используется при автоматическом режиме управления уровнем услуг, а при автоматизированном управлении роль координатора выполняет администратор уровня услуг, использующий СУИ в качестве системы поддержки принятия решений.

## Вывод

Доказана целесообразность представления модели СУИ при управлении уровнем услуг в виде двухуровневой системы управления с координатором. Комбинированный принцип управления на основе обратной связи с учетом возмущающего воздействия и основанный на правилах принцип координации позволяют поддерживать согласованный уровень услуг в автоматическом режиме работы СУИ.

## Список литературы

1. Ролик А.И. Декомпозиционно-компенсационный подход к управлению уровнем услуг в корпоративных ИТ-инфраструктурах / А.И. Ролик // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: Век+, – 2013. – № 58. – С. 78–88.
2. Ролик А.И. Система управления корпоративной информационно-телекоммуникационной инфраструктурой на основе агентского подхода / А.И. Ролик, А.В. Волошин, Д.А. Галушко, П.Ф. Можаровский, А.А. Покотило // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: «ВЕК+», 2010. – № 52. – С. 39–52.
3. Алиев Р.А. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Р.А. Алиев, М.И. Либерзон. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.
4. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
5. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем: пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага; пер. с англ. под ред. И. Ф. Шахнова. Предисл. чл.-кор. АН СССР Г.С. Поспелова. – М.: «Мир», 1973. – 344 с.
6. Information technology. Service management. Part 1: Specification: ISO/IEC 20000-1:2005. – ISO/IEC, 2005. – 16 p.
7. Information technology. Service management. Part 2: Code of practice: ISO/IEC 20000-1:2005. – ISO/IEC, 2005. – 34 p.
8. Ингланд Р. Введение в реальный ITSM: пер. с англ. / Р. Ингланд. – М.: Лайвбук, 2010. – 132 с.
9. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное/ В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М., «Наука». – 1975. – 768 с.
10. Згуровський М.З. Стратегія технологічного передбачення в інноваційній діяльності / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова// Науково-технічна інформація.– 2006. – 2 (28). – С. 3–10.
11. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – Киев: Наук. думка. – 2011. – 728 с.
12. Naur P. Revised report on the algorithmic language ALGOL 60// P. Naur // Communications of the ACM 6. – 1 Jan. 1963. – P. 1–17.
13. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем/ Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1971. – 424 с.
14. Ролік О.І. Метод зведення метрик якості функціонування компонентів ІТ-інфраструктури за допомогою апарату непараметричної статистики / О.І. Ролік, П.Ф. Можаровский, В.М. Вовк, Д.С. Захаров // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: «ВЕК+», 2011. – № 53. – С. 160–169.
15. Теленик С.Ф. Зведення метрик оцінювання рівня обслуговування користувачів на основі експертних оцінок / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, О.М. Моргалъ, О.С. Квітко// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №1. – С. 112–123.