

## КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ УСЛУГАМИ В СЕТЯХ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Сергей Шестопапов

**Аннотация:** *Выполненные исследования относятся к области проектирования интеллектуальной надстройки в сетях последующего поколения (NGN) для повышения качества управления интеллектуальными услугами. Работа посвящена анализу существующих принципов построения интеллектуальной надстройки, разработке интеллектуальной надстройки с децентрализованным принципом управления, построению ее аналитической модели и результирующего критерия качества управления интеллектуальными услугами. Приведены результаты исследований интеллектуальных надстроек с централизованным и децентрализованным принципами управления, указаны области их эффективного применения.*

**Ключевые слова:** *сеть последующего поколения, интеллектуальная надстройка, критерий качества.*

**Ключевые слова классификации АСМ:** *C.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system*

---

### Введение

В XXI веке в Украине наблюдается стремительное развитие сферы телекоммуникаций. Операторы предлагают широкий диапазон услуг, которые способны удовлетворить потребности любого пользователя. Значительно вырос спрос на интеллектуальные услуги. Предоставлять подобные услуги способна новая платформа, в основу которой входит интеллектуальная надстройка. Учитывая рост спроса на интеллектуальные услуги, одним из важнейших вопросов в сфере телекоммуникаций можно считать улучшение качества управления услугами за счет разработки принципов создания интеллектуальной надстройки в NGN.

Анализ научно-технической литературы показывает, что исследования принципов создания интеллектуальной надстройки непосредственно связаны с анализом архитектуры сети, принципом построения системы управления и разработкой результирующего критерия качества управления интеллектуальными услугами. Архитектуре NGN посвящены работы Б.С. Гольдштейна, О.Б. Гольдштейна [1,2], О.О. Атцика, О.В. Пинчука, Антоняна, Е.М. Скуратовской, С.И. Остроха, О.И. Ефремова. Свои архитектурные NGN-решения разработали такие лидеры телекоммуникационного рынка как Alcatel, Ericsson, Lucent Technologies, Siemens, российский производитель – НТЦ "Протей". Вопросы относительно управления сетями, услугами, оценивания эффективности функционирования систем управления, разработки результирующего критерия качества поднимаются в работах В.К. Стеклова [3], В.Г. Кривуцы, Л.Н. Беркман, Н.О. Князевой, Е.В. Кильчицкого, Костика, Е. Штейнберга, Н. Стародуба, Н.Я. Паршенкова. Качество услуг, поддерживаемых сетью NGN, рассматривали такие авторы как П. Фергюсон, Г. Хастон. Исследованию параметров разных трафиков посвящены работы Д. Хеймана, Х. Елгебали.

---

В последнее время в NGN, которые уже функционируют в Италии, Японии, достаточно успешно использовалась интеллектуальная надстройка с централизованным принципом управления (ИНЦПУ). Однако при росте спроса на интеллектуальные услуги ИНЦПУ не сможет качественно выполнять свои функции: будет возникать проблема, связанная с ограниченными пропускной способностью сети сигнализации и производительностью центров управления услугами, вырастет задержка предоставления услуги и так далее. При этом почти не проводятся исследования, посвященные совершенствованию интеллектуальной надстройки за счет децентрализации. Среди нерешенных проблем остается задача разработки принципов создания интеллектуальной надстройки с децентрализованным принципом управления (ИНДПУ). Недостаточно исследовано проблему разработки критерия качества управления интеллектуальными услугами. Учитывая ситуацию, которая сложилась в настоящий момент в сфере телекоммуникаций и растущий спрос на самые современные услуги, можно утверждать, что работа, которая посвящена исследованию и разработке принципов создания интеллектуальной надстройки в NGN, что будет способствовать повышению качества управления интеллектуальными услугами, является актуальной.

---

### **Исследование принципов создания интеллектуальной надстройки NGN и критерия качества. Постановка задачи**

---

В современных сетях NGN используется ИНЦПУ. При такой архитектуре существует единственный центр управления. В интеллектуальную надстройку, которая отвечает за управление интеллектуальными услугами, входит часть Softswitch, которая выполняет функцию коммутации услуги SSF, и сервер, который выполняет функцию управления услугой SCF. Допускается, что существует несколько территориально разнесенных районов. Управление районной сетью осуществляет установленный Softswitch. При росте спроса на интеллектуальные услуги может случиться, что ИНЦПУ не будет способна качественно выполнять свои функции, поскольку будут возникать проблемы, связанные с ограниченной пропускной способностью сети сигнализации и увеличением задержки предоставления услуги. Поэтому нужно искать более эффективное решение. Для управления услугами в IN, которая была предшественницей NGN и довольно существенно на нее повлияла, иногда предлагалась интеллектуальная надстройка с распределенным принципом управления (ИНРПУ). Архитектура сети с ИНРПУ позволяет решить часть проблем, существующих при ИНЦПУ. Прежде всего - уменьшить общее время обслуживания заявки на интеллектуальную услугу за счет выноса блоков управления сервисом ближе к пользователю. Однако остается очень много других нерешенных проблем, для решения которых необходимо использовать ИНДПУ.

Отдельно стоит вопрос относительно качества управления и разработки критерия качества. Качество управления интеллектуальными услугами определяется качеством функционирования интеллектуальной надстройки и зависит от ее возможностей обеспечить оптимальные значения критериев качества обслуживания заявок на интеллектуальные услуги.

На сегодняшний день используются векторные и скалярные критерии качества управления услугами. Сравнение систем с помощью векторного критерия не всегда возможно. Для сравнения необходимо, чтобы все частичные критерии, что входят в один векторный критерий, были не больше, чем частичные критерии, которые входят в другой. В противном случае для сравнения необходимо вводить дополнительные условия. Чаще всего сначала формируется векторный критерий, а затем осуществляется переход к скалярному критерию методами, которые предоставляют возможность количественной оценки качества управления услугами.

Для оценки качества управления интеллектуальными услугами ИНЦПУ и ИНДПУ необходимо определить принципы их построения, определить частичные критерии качества управления интеллектуальными услугами и методы их объединения в результирующий критерий.

Целью работы является решение комплекса научно-технических вопросов, связанных с исследованием и разработкой принципов создания интеллектуальной надстройки в NGN для повышения качества управления интеллектуальными услугами.

### Разработка принципов создания интеллектуальной надстройки NGN и результирующего скалярного критерия качества

На основе концепции IPCC [2] предложена архитектура NGN с ИНДПУ (рисунок 1). В сети следующего поколения с ИНДПУ существует несколько узлов коммутации услуги (Softswitch) и несколько узлов управления услугой (серверов). Предлагаются два подхода к реализации ИНДПУ. При первом подходе каждый сервер содержит логику обслуживания всех классов услуг (универсальный сервер). Второй подход предусматривает использование специализированных серверов (сервер содержит логику обслуживания лишь некоторых определенных классов услуг). Предусмотрена возможность предоставления одного класса услуг на нескольких серверах на случай выхода из строя любого сервера. Учитывая меньшую стоимость специализированных серверов и меньшее время обслуживания заявки, в дальнейшем считается, что при построении NGN с ИНДПУ используются специализированные серверы.

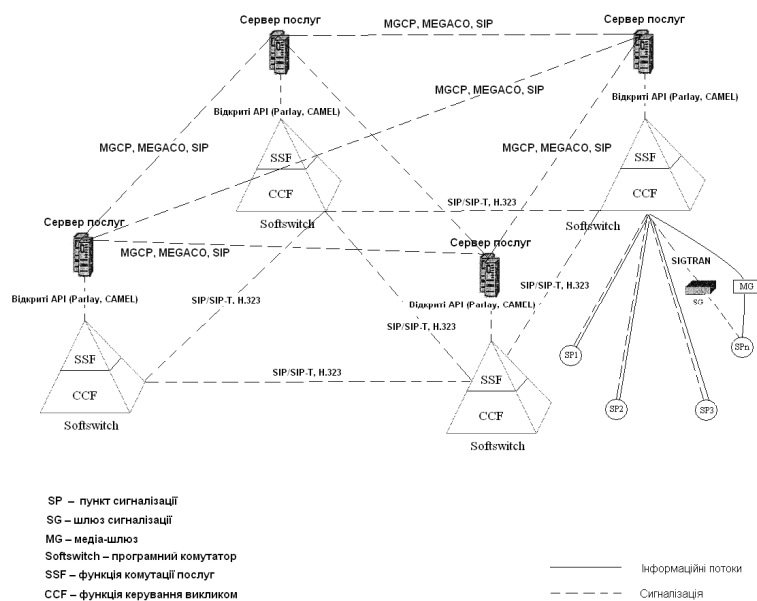


Рис. 1. Архитектура NGN с ИНДПУ

Предусмотрено существование нескольких территориально разнесенных районов. В каждом из них установлен Softswitch, который осуществляет управление районной транспортной сетью и выполняет функцию коммутации услуги SSF. В данном случае рядом с Softswitch расположен сервер, который содержит логику сложных интеллектуальных услуг. Интеллектуальная надстройка – практически отдельная сеть, которая необходима для обмена сообщениями и управляющими сигналами между серверами. В нее входят серверы и части Softswitch, которые выполняют функцию SSF. При обмене

информацией между серверами могут применяться протоколы MGCP, MEGACO, SIP. Связь между Softswitch и сервером осуществляется через открытые API (Parlay, Camel) [4].

Для предоставления преимущества архитектуре NGN с ИНЦПУ или ИНДПУ необходимо сравнить их качество управления интеллектуальными услугами.

Для этого следует определить критерии качества управления. Учитывая проведенные исследования [5], как частичные критерии качества управления предоставлением интеллектуальных услуг предложены: общее время обслуживания заявки на интеллектуальную услугу интеллектуальной надстройкой  $\bar{T}_{ii}$ , вероятность блокировки заявки  $\bar{P}_A$ , количество заявок, которые ожидают обслуживания  $L$  (далее эти критерии – технические), стоимость интеллектуальной надстройки  $\bar{C}$  (далее этот критерий – экономический). Подобные критерии используются для систем управления в IP-сетях и телекоммуникационных сетях. Однако в данном случае они имеют содержание, соответствующее объекту применения, и соответствующий способ расчета.

Как уже отмечалось, сравнить интеллектуальные надстройки с разными принципами управления с помощью частичных критериев, которые являются элементами векторного критерия, не всегда возможно. Целесообразно применить результирующий скалярный критерий. Для его создания использована аддитивная функция полезности:

$$F_p = \sum_{i=1}^I K_i v_i \quad (1)$$

где  $v_i$  – весовые коэффициенты,  $K_i$  –  $i$ -й частичный критерий,  $I$  – количество частичных критериев ( $I = 4$ ).

Для определения значений весовых коэффициентов частичных критериев использованы экспертные оценки приоритета  $\gamma_{ij}$  частичных критериев и сформирована матрица приоритетов [5].

Основой для расчета технических частичных критериев качества являются аналитические модели ИНЦПУ и ИНДПУ.

Для создания аналитических моделей интеллектуальных надстроек можно применить аппарат теории массового обслуживания и теории Марковских случайных процессов. Проанализированы характеристики входного потока заявок и интенсивности обслуживания заявок. При стационарном режиме интеллектуальные надстройки можно описывать не с помощью систем дифференциальных уравнений Колмогорова, а в виде алгебраических систем уравнений.

Предложен алгоритм построения аналитической модели ИНЦПУ, который представляет собой следующие этапы: кодировка состояний системы, формирования размеченного графа переходов системы, формирования системы уравнений и определения стационарных вероятностей, расчет частичных критериев ИНЦПУ. Предложены методы расчета частичных критериев ИНЦПУ.

Рассмотрена следующая аналитическая модель ИНЦПУ.

ИНЦПУ представлена в виде одноканальной системы массового обслуживания (СМО). Входной поток заявок – неоднородный: в систему поступают два класса заявок. Накопитель для заявок – с ограниченной емкостью:  $r = 2$ . Дисциплина обслуживания – с относительными приоритетами: заявки первого класса имеют приоритет по отношению к заявкам второго класса. Заявки двух классов, которые поступают в систему, образуют пуассоновские потоки с интенсивностями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , соответственно. Длительность обслуживания заявок каждого класса распределена по экспоненциальному закону с интенсивностями

$\mu_1 = 1/b_1$ ,  $\mu_2 = 1/b_2$ , где  $b_1$  и  $b_2$  – средняя длительность обслуживания заявок класса 1 и 2, соответственно. В СМО всегда существует стационарный режим, поскольку не может быть бесконечных очередей.

Кодирование состояний случайного процесса выполняется следующим образом:  $(\Pi, Ч)$ , где  $\Pi = \{0, 1, 2\}$  – состояние обслуживающего прибора, которое задается классом заявки находящейся на обслуживании («0» – прибор свободен; «1» или «2» – на обслуживании в приборе находится заявка класса 1 или 2, соответственно). Состояние накопителя:  $Ч = \{0, 1, 2, 11, 12, 22\}$ , где «0» – означает отсутствие заявок в накопителе; «1» – присутствие в накопителе только одной заявки класса 1; «2» – присутствие в накопителе только одной заявки класса 2; «11» – присутствие в накопителе двух заявок класса 1; «12» – присутствие в накопителе одной заявки класса 1 и одной заявки класса 2; «22» – присутствие в накопителе двух заявок класса 2. Закодировав состояния, построив граф переходов (рисунок 2), составив систему уравнений баланса для каждого из состояний системы и решив ее, можно определить вероятности нахождения системы в каждом из состояний  $p_i$ .

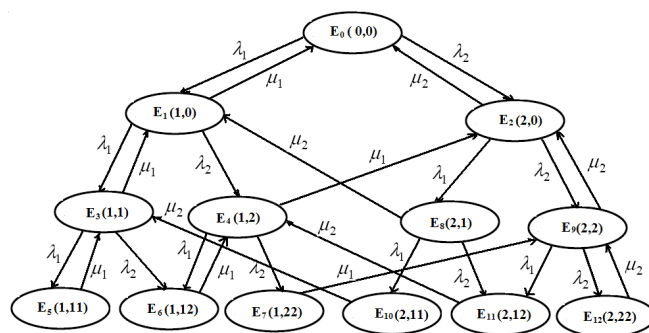


Рис. 2. Размеченный граф переходов Марковского процесса для ИНЦПУ

Характеристики предложенной ИНЦПУ при найденных значениях стационарных вероятностей состояний случайного процесса рассчитываются при помощи следующих выражений:

Среднее число заявок в очереди:

$$\bar{L}_{\text{оч}} = p_3 + p_4 + 2p_5 + 2p_6 + 2p_7 + p_8 + p_9 + 2p_{10} + 2p_{11} + 2p_{12} \quad (2)$$

Среднее число заявок в системе:

$$\bar{M}_{\text{сист}} = p_1 + p_2 + 2p_3 + 2p_4 + 3p_5 + 3p_6 + 3p_7 + 2p_8 + 2p_9 + 3p_{10} + 3p_{11} + 3p_{12} \quad (3)$$

Вероятность потери заявок:

$$\bar{P}_A = p_5 + p_6 + p_7 + p_{10} + p_{11} + p_{12} \quad (4)$$

Производительность системы:

$$\lambda' = (\lambda_1 + \lambda_2)(1 - \bar{P}_A) \quad (5)$$

Среднее общее время обслуживания заявки на интеллектуальную услугу:

$$\bar{T}_{\text{общ}} = \bar{M}_{\text{сист}} / \lambda' \quad (6)$$

Стоит отметить, что при увеличении количества классов услуг и длины очереди при сервере, сложность аналитической модели существенно возрастает, что усложняет ее практическое применение.

Представить ИНДПУ с помощью обычной системы массового обслуживания уже нельзя. ИНДПУ можно рассматривать как несколько соединенных между собой систем массового обслуживания, то есть как сеть массового обслуживания (СМО).

Предложен алгоритм построения аналитической модели ИНДПУ, которая представляет собой следующие этапы: кодировка состояний системы, формирования размеченного графа переходов системы, формирования системы уравнений и определения стационарных вероятностей, расчет частичных критериев ИНДПУ. Предложены методы расчета частичных критериев ИНДПУ. Рассмотрена следующая аналитическая модель ИНДПУ.

Представлено ИНДПУ в виде разомкнутой экспоненциальной СМО с двумя одноканальными узлами, в которую из внешней среды поступают заявки с интенсивностями  $\lambda_{ij}$ , где  $i = \overline{1, 2}$  – номера серверов,  $j = \overline{1, 2}$  – классы заявок. Заявки первого класса имеют более высокий приоритет, чем заявки второго. Накопители в обоих узлах имеют ограниченную емкость  $r_i$ ; зададим:  $r_1 = r_2 = 1$ . Заявка, которая поступила в узел и застала накопитель заполненным, теряется. Длительность обслуживания  $b_{ij}$  в узлах распределена по экспоненциальному закону со средними значениями  $b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}$ , соответственно. Считается, что применяются два специализированных сервера. Первый способен обслуживать лишь заявки класса 1, а заявки класса 2 отправляет на второй сервер. Второй сервер способен обслуживать лишь заявки класса 2, а заявки класса 1 перенаправляет к первому серверу. В таком случае значения  $b_{12}, b_{21}$  будут отвечать не среднему времени обслуживания, а среднему времени дешифрации класса заявки и перенаправления в другой сервер.

Поскольку заявки в сети могут теряться, представленная разомкнутая СМО является нелинейной, то есть интенсивности потоков заявок, которые поступают в узлы СМО, не связаны между собой линейной зависимостью и не могут быть рассчитаны путем решения системы линейных алгебраических уравнений. Длительность обслуживания заявок в узлах СМО распределена по экспоненциальному закону с интенсивностями обслуживания:  $\mu_{11} = 1/b_{11}, \mu_{12} = 1/b_{12}, \mu_{21} = 1/b_{21}, \mu_{22} = 1/b_{22}$ . В разомкнутой СМО при любой нагрузке существует стационарный режим, поскольку в узлах сети не могут быть бесконечные очереди.

Для описания состояний Марковского случайного процесса использовано распределение заявок между узлами. Состояния закодированы таким образом:  $(M_1/M_2)$  (где  $M_i = (П, Ч)$ ; П – прибор,  $П = \{0, 1, 2\}$ ; Ч – очередь,  $Ч = \{0, 1, 2\}$ ). Расшифруем обозначение:

1. Для прибора П: «0» – узел свободный; «1» – на обслуживании в узле находится заявка класса 1; «2» – на обслуживании в узле находится заявка класса 2.
2. Для очереди Ч: «0» – нет заявок в очереди; «1» – в очереди находится заявка класса 1; «2» – в очереди находится заявка класса 2.

Построив граф переходов аналогично ИНДПУ, составив систему уравнений баланса для каждого из состояний системы и решив ее, можно определить вероятности нахождения системы в каждом из отмеченных состояний  $p_i$ .

После этого можно рассчитать все основные характеристики системы.

Среднее число заявок в очереди первого сервера:

$$\bar{L}_1 = p_2 + p_3 + p_5 + p_6 + \sum_{k=19}^{30} p_k + \sum_{l=37}^{48} p_l \quad (7)$$

Среднее число заявок в очереди второго сервера:

$$\begin{aligned} \bar{L}_2 = & p_8 + p_9 + p_{11} + p_{12} + p_{14} + p_{15} + p_{17} + p_{18} + p_{20} + p_{21} + p_{23} + \\ & p_{24} + p_{26} + p_{27} + p_{29} + p_{30} + p_{32} + p_{33} + p_{35} + p_{36} + p_{38} + p_{39} + p_{41} + \\ & p_{42} + p_{44} + p_{45} + p_{47} + p_{48} \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда общая длина очереди:

$$\bar{L}_{i \text{ И } o} = \bar{L}_1 + \bar{L}_2 \quad (9)$$

Загрузки серверов соответствующим классом заявок определяются как суммы вероятностей состояний, в которых соответствующий сервер занят обслуживанием заявок соответствующего класса:

$$\begin{aligned} \rho_{11} = & p_1 + p_2 + p_3 + \sum_{k=13}^{30} p_k; \quad \rho_{12} = p_4 + p_5 + p_6 + \sum_{l=31}^{48} p_l \\ \rho_{21} = & p_7 + p_8 + p_9 + p_{13} + p_{14} + p_{15} + p_{19} + p_{20} + p_{21} + p_{25} + p_{26} + p_{27} + \\ & p_{31} + p_{32} + p_{33} + p_{37} + p_{38} + p_{39} + p_{43} + p_{44} + p_{45} \\ \rho_{22} = & p_{10} + p_{11} + p_{12} + p_{16} + p_{17} + p_{18} + p_{22} + p_{23} + p_{24} + p_{28} + p_{29} + p_{30} + \\ & p_{34} + p_{35} + p_{36} + p_{40} + p_{41} + p_{42} + p_{46} + p_{47} + p_{48} \end{aligned} \quad (10)$$

Производительности узлов (интенсивности обслуженных заявок соответствующего класса на выходе узлов) определяются по формулам:

$$\lambda'_{11} = \rho_{11}\mu_{11}; \quad \lambda'_{12} = \rho_{12}\mu_{12}; \quad \lambda'_{21} = \rho_{21}\mu_{21}; \quad \lambda'_{22} = \rho_{22}\mu_{22} \quad (11)$$

Вероятность потери заявок соответствующего класса на соответствующем сервере:

$$\bar{P}_{A11} = 1 - \frac{\lambda'_{11}}{\lambda_{11} + \lambda_{21}}; \quad \bar{P}_{A12} = 1 - \frac{\lambda'_{12}}{\lambda_{12}}; \quad \bar{P}_{A22} = 1 - \frac{\lambda'_{22}}{\lambda_{22} + \lambda'_{12}}; \quad \bar{P}_{A21} = 1 - \frac{\lambda'_{21}}{\lambda_{21}} \quad (12)$$

Вероятность потери заявок соответствующего класса в ИНДПУ:

$$\bar{P}_{A1} = 1 - \frac{\lambda'_{11}}{\lambda_{11} + \lambda_{21}}; \quad \bar{P}_{A2} = 1 - \frac{\lambda'_{22}}{\lambda_{22} + \lambda'_{12}} \quad (13)$$

Среднее число заявок соответствующего класса:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{11} = & p_1 + 2p_2 + p_3 + p_5 + \sum_{k=13}^{18} p_k + 2\sum_{l=19}^{24} p_l + \sum_{m=25}^{30} p_m + \sum_{n=37}^{42} p_n; \quad \bar{M}_{12} = p_3 + p_4 + p_5 + 2p_6 + \sum_{k=25}^{42} p_k + 2\sum_{l=43}^{48} p_l \\ \bar{M}_{21} = & p_7 + 2p_8 + p_9 + p_{11} + p_{13} + 2p_{14} + p_{15} + p_{17} + p_{19} + 2p_{20} + p_{21} + p_{23} + p_{25} + 2p_{26} + p_{27} + \\ & p_{29} + p_{31} + 2p_{32} + p_{33} + p_{35} + p_{37} + 2p_{38} + p_{39} + p_{41} + p_{43} + 2p_{44} + p_{45} + p_{47} \\ \bar{M}_{22} = & p_{10} + p_{11} + 2p_{12} + p_{15} + p_{16} + p_{17} + 2p_{18} + p_{21} + p_{22} + p_{23} + 2p_{24} + \end{aligned} \quad (14)$$

$$2p_{30} + p_{33} + p_{34} + p_{35} + 2p_{36} + p_{39} + p_{40} + p_{41} + 2p_{42} + p_{45} + p_{46} + p_{47} + 2p_{48}$$

Определена весомость потока заявок соответствующего класса для каждого из серверов:

$$f_1 = \lambda_{11}(1 - P_{A11}); f_2 = \lambda'_{21}(1 - P_{A11}); f_3 = \lambda_{22}(1 - P_{A22}); f_4 = \lambda'_{12}(1 - P_{A22})$$

$$\varepsilon_{11} = \frac{f_1}{f_1 + f_2}; \varepsilon_{12} = \frac{f_2}{f_1 + f_2}; \varepsilon_{21} = \frac{f_3}{f_3 + f_4}; \varepsilon_{22} = \frac{f_4}{f_3 + f_4} \quad (15)$$

Время обслуживания заявки соответствующего класса на каждом из серверов:

$$\bar{O}_{11} = \frac{\bar{M}_{11}}{\lambda'_{11}}; \bar{O}_{12} = \frac{\bar{M}_{12}}{\lambda'_{12}}; \bar{O}_{21} = \frac{\bar{M}_{21}}{\lambda'_{21}}; \bar{O}_{22} = \frac{\bar{M}_{22}}{\lambda'_{22}} \quad (16)$$

Тогда общее время обслуживания заявки соответствующего класса в ИНДПУ:

$$\bar{O}_{i \in \text{AI} \text{O}1} = \varepsilon_{11} \bar{O}_{11} + \varepsilon_{21} (\bar{O}_{21} + \bar{O}_{11}); \bar{O}_{i \in \text{AI} \text{O}2} = \varepsilon_{22} \bar{O}_{22} + \varepsilon_{12} (\bar{O}_{12} + \bar{O}_{22}) \quad (17)$$

Следует отметить, что при росте количества классов услуг, количества серверов, длины очереди при серверах, учитывая нелинейность систем, с помощью которых моделируются сервера, и объединения их в сеть, сложность аналитической модели существенно растет, что усложняет ее практическое использование.

Одним из частичных критериев качества ИНЦПУ и ИНДПУ является их стоимость, точнее говоря, чистая приведенная стоимость NPV. Формулы расчета NPV для ИНЦПУ и ИНДПУ будут иметь одинаковый вид. Для расчета введены следующие обозначения:  $P$  – объем доходов от внедрения интеллектуальной надстройки;  $B_u$  – инвестиционный капитал;  $B_e$  – текущие расходы на интеллектуальную надстройку;  $A$  – годовая амортизация основных средств, в которые инвестирован капитал;  $T$  – период реализации и эксплуатации интеллектуальной надстройки (количество лет);  $t$  – порядковый номер каждого года;  $r$  – годовая дисконтная ставка.

NPV можно определить, как общую разницу между приведенными доходами и расходами на интеллектуальную надстройку за все годы реализации и эксплуатации:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{(P_t - B_{ut} - P_{et})}{(1+r)^{t-1}} \quad (18)$$

Как уже отмечалось, при исследовании интеллектуальных надстроек, которые содержат больше двух специализированных серверов и обслуживают несколько классов заявок на интеллектуальные услуги, практическое использование аналитических моделей не целесообразно через их сложность. Предлагается в таких случаях использовать имитационные модели.

### Разработка имитационных моделей ИНЦПУ и ИНДПУ и определение сферы их эффективного применения

На основании разработанных аналитических моделей для исследования ИНЦПУ и ИНДПУ предложены их имитационные модели. Представлено алгоритм функционирования имитационной модели ИНЦПУ. Для достижения определенной точности результатов в модель должно поступить соответствующее количество заявок. Происходит генерирование заявок двух классов с разными приоритетами, которые поступают в систему. Отдельные блоки моделируют пребывание заявки в очереди и обслуживания заявок сервером, рассчитывают частичные критерии.



Алгоритм функционирования имитационной модели ИНДПУ представлен на рис. 3. Для достижения определенной точности результатов в модель должно поступить соответствующее количество заявок. Происходит генерирование заявок двух классов с разными приоритетами, которые на следующем шаге поступают в два сервера. Два сервера и очереди моделируются отдельными блоками, которые выполняют всю необходимую логику обслуживания и рассчитывают частичные критерии. Предусмотрена передача заявки класса 2, что поступила в первый сервер, на второй сервер. Подобная процедура происходит и с заявками класса 1, что поступили во второй сервер [6].

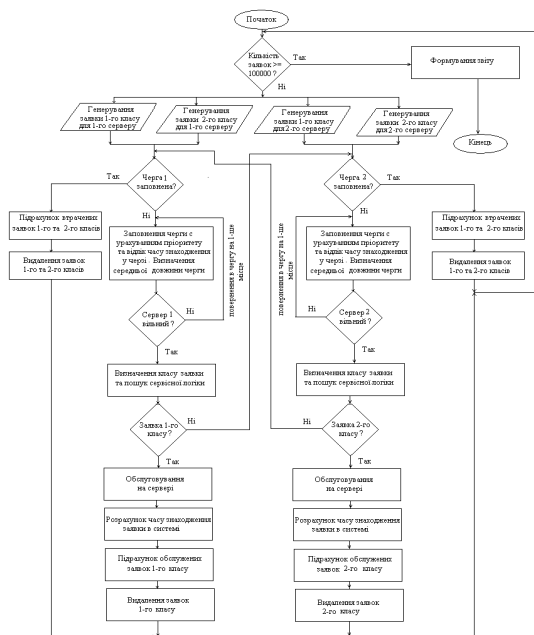


Рис.3. Алгоритм функционирования имитационной модели ИНДПУ

Для моделирования описанной системы на ЭВМ использовано GPSS (General Purpose Simulation System). В результате тестирования отмеченных моделей было установлено, что погрешность результатов, полученных с помощью аналитической и имитационной моделей, для ИНЦПУ не превышает 0,85%, для ИНДПУ – 4%.

Большее значение погрешности при сравнении имитационной и аналитической моделей ИНДПУ в первую очередь связано со сложностью ее архитектуры и, соответственно, ее аналитической и имитационной моделей. Полученные результаты подтверждают возможность использования имитационных моделей интеллектуальных надстроек в тех случаях, когда создание их аналитических моделей практически невозможно.

Допускалось, что серверы имеют постоянное время обслуживания заявки соответствующего класса. Для сравнения качества функционирования интеллектуальных надстроек использованы следующие значения. Для серверов ИНДПУ:  $\mu_{11} = 0.4$ ,  $\mu_{12} = 0.5$ ,  $\mu_{21} = 0.5$ ,  $\mu_{22} = 0.4$ . Для сервера ИНЦПУ:  $\mu_1 = 0.4$ ,  $\mu_2 = 0.4$ .

Изменяя значение  $\lambda$ , можно сравнить качество управления обслуживанием заявок. Считалось, что,  $\lambda_{11} = \lambda_{12} = \lambda_{21} = \lambda_{22}$  а,  $\lambda_1 = \lambda_{11} + \lambda_{21}$ ,  $\lambda_2 = \lambda_{12} + \lambda_{22}$ . В расчетах принята стоимость ИНДПУ 10 000 у.е., а стоимость ИНЦПУ – 7 000 у.е. Коэффициент нормирования для стоимости составляет 1000, для других показателей – 1. Выполнив соответствующие расчеты, получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов

ИН	$\lambda$	L	$\bar{T}_{oo1}$	$\bar{T}_{oo2}$	$\bar{P}_{Б1}$	$\bar{P}_{Б2}$	C	F <sub>p</sub>
ДПУ	0,05	0,159	4,375	4,373	0,115	0,117	10 000	3,22
ЦПУ	0,1	0,274	3,785	4,208	0,069	0,067	7 000	2,74
ДПУ	0,08	0,313	4,657	4,662	0,222	0,218	10 000	3,49
ЦПУ	0,16	0,563	4,215	5,073	0,174	0,17	7 000	3,21
ДПУ	0,1	0,402	4,753	4,743	0,283	0,283	10 000	3,62
ЦПУ	0,2	0,76	4,522	5,617	0,253	0,25	7 000	3,53
ДПУ	0,2	0,793	5,081	5,094	0,518	0,517	10 000	4,08
ЦПУ	0,4	1,334	5,01	7,169	0,534	0,53	7 000	4,42
ДПУ	0,4	1,209	5,19	5,21	0,724	0,730	10 000	4,42
ЦПУ	0,8	1,7	5,275	8,516	0,754	0,758	7 000	5,10
ДПУ	0,6	1,406	5,12	5,16	0,8	0,8	10 000	4,49
ЦПУ	1,2	1,803	5,124	8,796	0,833	0,832	7 000	5,23
ДПУ	0,8	1,536	5,092	5,149	0,858	0,856	10 000	4,56
ЦПУ	1,6	1,86	5,136	9,026	0,875	0,872	7 000	5,34

Как видно с таблицы 1 при малых значениях интенсивности поступления заявки  $\lambda$ , когда  $\lambda < \mu$ , лучше применять ИНЦПУ. При росте  $\lambda$  и приближении ее к  $\mu$  преимущество ИНЦПУ над ИНДПУ становится значительно меньше и при определенных значениях уже лучше применять ИНДПУ. Особенно существенно преимущество ИНДПУ ощутимое при  $\lambda \geq \mu$ . Однако такие результаты касаются лишь интеллектуальных надстроек с простой структурой (обслуживают незначительное количество классов заявок, ИНДПУ имеет два сервера).

Проанализировано поведение более сложных интеллектуальных надстроек.

Рассмотрено ИНЦПУ, обслуживающую четыре класса заявок.

ИНЦПУ – одноканальная СМО. Входной поток заявок – *неоднороден*: в систему поступает 4 класса заявок. Накопитель для заявок – *ограниченной емкостью*  $r = 16$ . Дисциплина буферизации – *без вытеснения* заявок: если при поступлении в систему заявки любого класса накопитель заполнен до конца, то заявка теряется. Дисциплина обслуживания – *с относительными приоритетами*: чем меньше значение класса, тем выше приоритет заявок. Всякий раз из накопителя на обслуживание выбирается заявка с наивысшим приоритетом. При этом во время поступления в систему высокоприоритетной заявки обслуживания низкоприоритетной не прерывается. Предположения и допущения: заявки классов, которые поступают в систему, образуют *простые* потоки с интенсивностями  $\lambda_j$ , где  $j = \overline{1, 4}$ . Длительность обслуживания заявок каждого класса распределена по экспоненциальному закону с интенсивностями  $\mu_j = 1/b_j$ , где  $b_j$  – средняя длительность обслуживания заявок  $j$ -го класса.

Проанализировано поведение ИНДПУ с четырьмя серверами, которая обслуживает четыре класса заявок. ИНДПУ представлено в виде следующей СЕМО: ИНДПУ – разомкнута экспоненциальная СЕМО с 4 узлами, которые отвечают серверам ИНДПУ. Узлы СЕМО – одноканальные. Накопители в узлах имеют

ограниченную емкость  $r_i$ . Установим  $r_i = 4$ , где  $i = \overline{1, 4}$ . Входной поток заявок – *неоднороден*: в систему поступает 4 класса заявок с интенсивностями  $\lambda_{ij}$ , где  $i = \overline{1, 4}$  – номер серверов,  $j = 4$  – класс заявок.

Заявки класса 4 не поступают к четвертому серверу, а перенаправляются еще на стадии коммутации программным коммутатором. Дисциплины буферизации в узлах – с потерями заявок, если накопители заполнены. Дисциплина обслуживания – с *относительными приоритетами*: чем меньше значение класса, тем высший приоритет заявок. Всякий раз из накопителя на обслуживание выбирается заявка с наивысшим приоритетом. При этом во время поступления в систему высокоприоритетной заявки обслуживания низкоприоритетной не прерывается. Заданы матрицы  $Q^j = \|q_{ik}^j\|$  вероятностей передач заявки из текущего сервера на другие серверы или обслуживание текущим сервером, где  $i, k = \overline{1, 4}$  – номер серверов, для классов заявок  $j = 4$ . При  $i \neq k$   $q^j$  отвечает вероятности передачи, при  $i = k$   $q^j$  отвечает вероятности обслуживания текущим сервером.

Предположение и допущение:

Длительность обслуживания заявок в узлах СЕМО распределена по экспоненциальному закону с интенсивностями обслуживания:  $\mu_{ij} = 1/b_{ij}$ , где  $i = \overline{1, 4}$  – номер сервера,  $j = 4$  – класс заявок.  $b_{ij}$  – средняя длительность обслуживания заявок  $j$ -го класса на  $i$ -м сервере. В таком случае  $b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{31}, b_{32}, b_{41}, b_{42}$  будут соответствовать не среднему времени обслуживания, а среднему времени дешифрования класса заявки и перенаправления в другой сервер.

Для описанных интеллектуальных надстроек разработка аналитических моделей связана с большими сложностями, потому для исследования таких систем целесообразно прибегнуть к имитационному моделированию.

Алгоритм функционирования имитационной модели рассмотренной ИНЦПУ является подобным алгоритму имитационной модели ИНДПУ, которая обслуживает два класса заявок. Отличие заключается лишь в количественных характеристиках.

Представлен алгоритм функционирования имитационной модели ИНДПУ. Модель ИНДПУ должна работать в течение определенного времени или к ней должно поступить соответствующее количество заявок. Происходит генерирование заявок четырех классов с разными приоритетами. Четыре сервера и очереди моделируются отдельными блоками, которые выполняют всю необходимую логику обслуживания и рассчитывают характеристики. Если к первому и второму серверам поступили заявки классов 1 и 2, то они обслуживаются. Если же поступили заявки классов 3 и 4, то они передаются на другие сервера, способные их обслужить, в соответствии с  $Q^j = \|q_{ik}^j\|$ . Подобная процедура происходит и с заявками классов 1 и 2, которые поступили в третий и четвертый сервер.

Проведено сравнение результатов, полученных при использовании предложенных моделей. Считалось, что сервера имеют постоянное среднее время обслуживания заявки соответствующего класса, а время обслуживания и время дешифрации для всех заявок на всех серверах одинаково. Для сравнения качества функционирования интеллектуальных надстроек использовались следующие значения интенсивностей обслуживания и дешифрации: серверы ИНДПУ –  $\mu_{i\dot{a}\dot{n}} = 0.4$ ,  $\mu_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}} = 0.4$ , сервер ИНЦПУ –  $\mu = 0.4$ .

Изменяя значение интенсивностей поступления заявок в систему, можно сравнить качество управления обслуживанием заявок. Считалось, что все  $\lambda_{ij}$  для ИНДПУ одинаковые, где  $i = \overline{1, 4}$  – номер серверов,

$j = \overline{1,4}$  – класс заявок, а  $\lambda_j$  для ИНЦПУ  $\lambda_j = \sum_{i=1}^4 \lambda_{ij}$  при ИНДПУ. Кроме того  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4$ . В

расчетах принята стоимость ИНДПУ 25 000 у.е., а стоимость ИНЦПУ – 7 000 у.е. Коэффициент нормирования для стоимости составляет 1000, для других показателей – 1. В результате использования моделей и выполнения соответствующих расчетов для входных параметров получены значения, представленные в таблице 2.

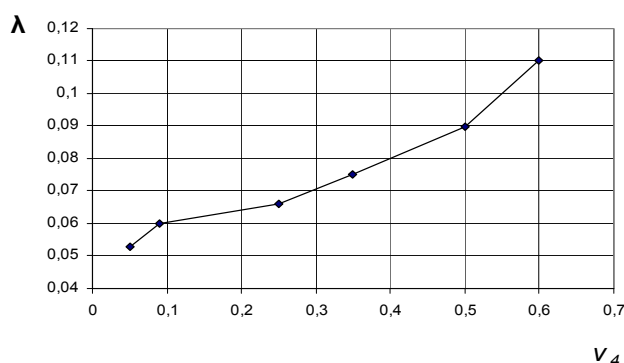
Таблица 2. Результаты расчетов

ИН	$\lambda$	$L$	$\overline{T}_{ii1}$	$\overline{T}_{ii2}$	$\overline{T}_{ii3}$	$\overline{T}_{ii4}$	$\overline{P}_{A1}$	$\overline{P}_{A2}$	$\overline{P}_{A3}$	$\overline{P}_{A4}$	$C$	$F_p$
ИНДПУ	0,0062	0,138	3,833	3,867	3,864	4,386	0	0	0	0	25000	6,26
ИНЦПУ	0,025	0,084	3,179	3,287	3,371	3,556	0	0	0	0	7000	3,99
ИНДПУ	0,007	0,05	3,874	3,89	3,891	4,464	0	0	0	0	25000	6,29
ИНЦПУ	0,028	0,108	3,251	3,402	3,52	3,7	0	0	0	0	7000	4,12
ИНДПУ	0,01	0,106	4	4,07	4,09	4,79	0	0	0	0	25000	6,66
ИНЦПУ	0,04	0,262	3,644	3,869	4,251	4,859	0	0	0	0	7000	4,83
ИНДПУ	0,015	0,411	4,299	4,394	4,469	5,484	0	0	0	0	25000	6,98
ИНЦПУ	0,06	0,907	4,286	5,061	6,512	9,392	0	0	0	0	7000	7,10
ИНДПУ	0,025	1	4,908	5,18	5,325	7,475	0,0093	0,0069	0,0097	0,01753	25000	8,15
ИНЦПУ	0,1	7,562	5,514	7,899	14,629	63,533	0,0585	0,0555	0,0577	0,05899	7000	24,85

Как уже отмечалось, чем значение критерия меньше, тем лучше качество функционирования интеллектуальной надстройки. Как видно из таблицы 2, даже при незначительных интенсивностях поступления заявок  $\lambda = 0,06$  качество управления интеллектуальными услугами ИНДПУ лучше, чем ИНЦПУ заданной сложности.

Проанализировав таблицы 1 и 2, можно сделать вывод, что при усложнении структуры интеллектуальной надстройки (росте количества классов интеллектуальных услуг, количества серверов при ИНДПУ, разных вариантах размещения логики обслуживания заявок на услугу и тому подобное) значения интенсивности поступления заявок на услугу, при которой ИНДПУ функционирует качественнее чем ИНЦПУ, уменьшается и выбор архитектуры зависит от ряда факторов. Причем одним из важнейших является стоимость интеллектуальной надстройки. Однако при совсем малых значениях интенсивности поступления заявок на услугу преимущество ИНДПУ сводится на нет в результате учета времени передачи заявок от сервера к серверу в случае отсутствия необходимой логики обслуживания для заявки.

Следует отметить, что достаточно существенно на результат сравнения влияют весовые коэффициенты в обобщенном скалярном критерии качества. В таком случае при ограниченных инвестиционных возможностях весовой коэффициент при частичном критерии  $\overline{C}$  будет достаточно большим. В результате расчетов при разных значениях весового коэффициента стоимости интеллектуальной надстройки получен график зависимости интенсивности поступления заявок в систему, при которой ИНДПУ функционирует уже качественнее за ИНЦПУ, от значения весового коэффициента при стоимости (рисунок 4).



**Рис.4.** График зависимости интенсивности поступления заявок в систему, при которой ИНДПУ функционирует уже качественнее за ИНЦПУ, от значения весового коэффициента при стоимости

## Литература

1. Гольдштейн А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 2. – С. 12-21.
2. Гольдштейн А.Б. Построение NGN: IPCC vs. TISPAN / А.Б. Гольдштейн, А. Атцик // Connect! Мир связи. – 2006. – № 4. – С. 90-95.
3. 3.Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій/ [В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я. Костік, В.Ф. Олійник]. – Техніка, 2007. – 384 с.
4. Шестопапов С.В. Підвищення якості управління послугами при застосуванні децентралізованої системи управління / С.В. Шестопапов, Н.о. Князева // Вісник ДУІКТ. – т.8. – №1 – К.: ДУІКТ, 2010р. – С. 21-28.
5. Шестопапов С.В. Результовий критерій якості системи управління додатковими послугами в NGN / С.В. Шестопапов // Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – №2 (5E). – Краматорск: Издательство ДГМА, 2009р. – С. 185-189.
6. Шестопапов С.В. Моделювання процесів функціонування систем управління / С.В. Шестопапов, Н.о. Князева // Холодильная техника и технология. – №2 (124) – Одеса: Видавництво ОДАХ. – 2010. – С. 55-62.

## Благодарности

*Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем), в связи с чем автор и выражает свою искреннюю благодарность.*

## Информация об авторах

**Сергей Шестопапов** – Факультет информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, ассистент кафедры информационных систем и сетей ; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; моб. 097-625-96-77; e-mail: shestopalov\_s@mail.ru

*Главные области научного исследования: Качество управления интеллектуальными услугами.*