

УДК 681.324

## Имитационное моделирование и информационные технологии ценообразования ресурсов Грид-систем на основе двойного аукциона

С. В. Знахур, С. В. Минухин

*Харьковский национальный экономический университет, Украина*

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования поведения участников торгов при распределении имеющихся ресурсов Грид-системы на основе механизма двойного аукциона. Разработана математическая модель и ее программная реализация для моделирования в условиях изменения количества владельцев ресурсов и клиентов – их потребителей – для различных интенсивностей потоков заявок. Получены результаты, анализ которых обосновывает возможность применения предложенной модели для прогнозирования ценообразования ресурсов Грид-системы.

*Ключевые слова:* Грид-система, владелец, ресурс, двойной аукцион, клиент, механизм, цена, модель, имитация

Розглянуто питання імітаційного моделювання поведінки учасників торгів при розподілі наявних ресурсів Грид-системи на основі механізму подвійного аукціону. Розроблено математичну модель і її програмна реалізація для моделювання в умовах зміни кількості власників ресурсів і клієнтів – їх споживачів – для різних інтенсивностей потоків заявок. Отримано результати, аналіз яких обґрунтовує можливість при-трансформаційних змін запропонованої моделі для прогнозування ціноутворення ресурсів Грид-системи.

*Ключові слова:* Грид-система, власник, ресурс, подвійний аукціон, клієнт, механізм, ціна, модель, імітація

The problems of simulation modeling of the bidders' behavior in the allocation of available resources of Grid-systems based on a mechanism of the double auction are examined. A mathematical model and its program realization has been developed for trading modeling under the conditions of changing the number of resource owners and clients – their customers – for different intensities of application flows. The results, analysis of which justifies the possibility of applying the proposed model to predict the pricing of Grid-system resources, are obtained.

*Keywords:* Grid-system, owner, resource, double auction, customer, pricing, mechanism, model, simulation

### 1. Введение

Коммерческое использование ресурсов ГРИД предполагает денежную форму расчетов за время пользования ресурсами ГРИД при решении внешних по отношению к ресурсам задач клиентов [1–5, 11]. В настоящее время в Украине отсутствуют механизмы коммерческого использования ресурсов Грид и, соответственно, систем расчета за их аренду (предоставление услуг). Задача оценки перспективности коммерческого Грид, стоящая перед владельцами вычислительных кластеров, предполагает разработку и использование методики расчета денежного потока в Грид-системе на основе сопоставления доходной (оплатой за пользование и аренду ресурсов Грид), и расходной (стоимость владения вычислительного кластера или эксплуатационные затраты на его содержание) составляющих [11]. Предполагается, что в качестве основных

экономических отношений, регулирующих денежные потоки в Грид-системе, выступают рыночные, как регулятор изменения стоимости (цены) использования ресурсов в условиях динамического изменения, как количества доступных вычислительных ресурсов, так и количества заданий пользователей, имеющих различную временную трудоемкость и требования к вычислительным ресурсам. Реализация системы расчетов за коммерческое использование ресурсов возможна только в рамках определенного экономического механизма, предусматривающего не только наличия технологического и экономического аспектов взаимодействия участников Грид-системы, но так же и организационный – для обеспечения эффективности и обоснования целесообразности данных отношений. Особенностью организационного аспекта взаимодействия участников Грид является то, что подключение вычислительных кластеров, а также появление новых клиентов (пользователей), основано на добровольном выборе участников, однако их экономические отношения регулируются в рамках правовых отношений Грид-системы и виртуального общества (виртуальных организаций), а также основаны на прагматичных принципах (максимизации эффекта для его участников).

Целью данной статьи является построение имитационной модели и анализ результатов имитационного моделирования работы торгового автомата для ценообразования ресурсов Грид-системы, в котором используется предложенная в данном исследовании система правил изменения цены вычислительных ресурсов в рамках механизма двойного аукциона.

Данное исследование основано на использовании концепции рыночных отношений между клиентами и владельцами ресурсов, которая предусматривает: наличие спроса и предложения на ресурсы, механизма ценообразования, а также наличия правового обеспечения экономических отношений. Примером реализации концепции рыночных отношений в Грид является система Nimrod/G, в основе которой лежит модель поиска равновесного состояния между владельцами и потребителями ресурсов посредством механизма двойного аукциона [5, 6, 8, 9, 10]. В системе Nimrod/G [6] равновесная цена определяется с учетом конечного срока выполнения заданий и бюджетных ограничений пользователя (используется набор сервисов торговли ресурсами Грид – Architecture for Computational Economy). Однако данный механизм не нашел широкого применения вследствие сложности поведения участников рынка: количество сделок в рамках системы Nimrod/G снижалось и носило спекулятивный и монопольный характер со стороны владельцев ресурсов [1]. В данной статье предлагается использовать упрощенную систему правил ценообразования ресурсов для торгового автомата на основе использования правил проведения торгов двойного аукциона.

Задачами данной статьи являются:

формализация правил изменения цены ресурсов в рамках использования механизма двойного аукциона для торгов Грид-ресурсами;

программная реализация имитационной модели торгов Грид-ресурсами в условиях двойного аукциона для анализа сценариев поведения игроков владельцев и клиентов Грид-ресурсов;

построение плана проведения экспериментов и анализ особенностей использования двойного аукциона при изменении параметров имитационной модели (изменение соотношения между количеством заявок клиентов и владельцев Грид-ресурсов, а также их цен на Грид-ресурсы).

## 2. Модель двойного аукциона

Пусть на  $t$ -ом аукционе  $A_t$  присутствуют  $m$  владельцев и  $n$  клиентов. Каждый из них выставляет свои заявки на покупку  $L_j^{bid}$  и заявки на продажу  $L_i^{ask}$ , где индекс  $j$  – номер владельца ресурсов,  $i$  – номер клиента для текущего аукциона. Рассматривается случай, когда на аукционе реализуются ресурсы одного типа (вида). Предполагается, что каждый участник первоначально не знает цену на ресурсы со стороны других участников рынка для данного аукциона  $A_t$ . Пусть в момент времени  $t$  цены  $P_j^{bid}$  и  $P_i^{ask}$  заявок  $L_j^{bid}$  и  $L_i^{ask}$  являются случайными величинами, которые распределены по нормальному закону. В дальнейшем каждый участник рынка может выбирать свою цену независимо от других участников, основываясь только на результатах предыдущего аукциона. Для упрощения расчетов предполагается, что заявки содержат объемы  $V_j^{bid}$  и  $V_i^{ask}$ , которые больше или равны минимальному объему ресурсов, принятому на аукционе,  $V_{\min}$ , а время использования ресурсов  $T_i$  определяется только для заявок  $L_i^{ask}$ , причем  $T_i \geq T_{\min}$  (которое может иметь фиксированный размер, например, сутки). Таким образом,  $L_j^{bid}$  можно описать кортежем  $\{P_j^{bid}, V_j^{bid}\}$ , а  $L_i^{ask}$  – кортежем  $\{P_i^{ask}, V_i^{ask}, T_i\}$ . Для того, чтобы на аукционе проходила торговля, необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

$$P_j^{bid} \leq P_i^{ask} \text{ и } V_j^{bid} \geq V_i^{ask} .$$

Это означает, что цены покупки и продажи для участников пересекаются, т.е., существует равновесная цена, по которой продавец хотел бы продать, а клиент – купить, и при этом объем предлагаемых ресурсов владельца в заявке был больше или равен объему ресурсов, заявляемому в заявке клиента.

Согласно механизму двойного аукциона система торговли автоматически поддерживает очереди заявок на покупку и продажу ресурсов. Внутри очереди на покупку имеющиеся заявки  $L_i^{ask}$  упорядочены по убыванию их цены  $P_i^{ask}$ , а внутри очереди на продажу  $L_j^{bid}$  – по возрастанию цены  $P_j^{bid}$ . Размер каждой очереди фиксирован (определяется граница для времени формирования очереди для проведения аукциона). Цена верхней заявки в очереди называется текущей ценой покупки или продажи. Участники аукциона не могут непосредственно покупать или продавать ресурсы, сделки осуществляются на основе правил автокроссинга [5, 10]. Суть этого правила такова: если участник подает заявку на покупку товара по цене, выше текущей цены продажи, то он автоматически

покупает товар по текущей цене продажи. Аналогично происходит и автокроссинг при выставлении заявки на продажу ниже текущей цены покупки. Следует особо отметить, что при неравенстве объемов заявок  $V_j^{bid} < V_i^{ask}$ , попадающих под автокроссинг, заявки, которые не были удовлетворены, остаются в очереди до следующего аукциона. Для каждого из владельцев ресурсов должно соблюдаться условие, определяющее его участие на аукционах: получаемая прибыль должна быть больше величины штрафов за неиспользуемые ресурсы:

$$Income_j - Cost_j \geq Penalty_j, \quad (1)$$

где  $Cost_j$  – затраты на обеспечение актуализации ресурсов владельца для интервала времени  $T_{min}$  (например, одни сутки):

$$Cost_j = C_j * V_j^{bid} * T_{min}, \quad (2)$$

где  $C_j$  – постоянные затраты на содержание одного ресурса (в актуальном состоянии) за единицу времени (например, за сутки).

Доход определяется на основе потенциальной реализации имеющегося объема ресурсов по цене  $P_j^{bid}$  для интервала времени  $T_{min}$ :

$$Income_j = P_j^{bid} * V_j^{bid} * T_{min}. \quad (3)$$

Штрафы определяются для времени простоя ресурсов (в случае если заявка не была удовлетворена) по формуле:

$$Penalty_j = Ta * C_j * V_j^{bid}, \quad (4)$$

где  $Ta$  – время простоя ресурсов между аукционами.

Таким образом, задача оценки эффекта от участия на аукционах и изменения цен для владельца ресурсов сводится к максимизации прибыли по всем аукционам согласно следующему функционалу:

$$\sum_{t=1}^p (a_t * P_{jt}^{bid} * V_j^{bid} * T_{min}) - (a_t * V_{jt}^{bid} * C_j * T_{min}) - (b_t * V_{jt}^{bid} * C_j * Ta_t) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $t$  – номер аукциона,  $a_t$  – признак положительной реализации заявки владельца  $L_j^{bid}$  на аукционе  $A_t$ ,  $a_t = \begin{cases} 1 - \text{заявка реализована;} \\ 0 - \text{заявка не реализована} \end{cases}$ , признак

$b_t$  является инверсией по отношению к  $a_t$ , т.е.,  $b_t = \bar{a}_t$ , а  $b_t = 1$  означает простой ресурс в случае не реализации заявки  $L_j^{bid}$  на аукционе  $A_t$ .

После несложных преобразований (5) получим следующее выражение:

$$\sum_{t=1}^p V_{jt}^{bid} * (a_t * (P_{jt}^{bid} * T_{\min} - C_j * T_{\min}) - b_t * C_j * T_{a_t}) \rightarrow \max. \quad (6)$$

Для упрощения изложения введем условие, что состоявшийся аукцион для  $L_j^{bid}$  предполагает реализацию всего объема  $V_j^{bid}$ , в этом случае переменными для управления в модели являются цена ресурса на аукционе  $P_{jt}^{bid}$  и время простоя ресурсов между временем проведения аукционов  $T_{a_t}$ .

При выполнении ограничения целесообразности участия владельца на аукционе должны выполняться следующие ограничения:

$$\sum_{t=1}^r V_{jt}^{bid} * (a_t * (P_{jt}^{bid} * T_{\min} - C_j * T_{\min}) - b_t * C_j * T_{a_t}) < 0, \quad (7)$$

и

$$P_{it}^{bid} > \max \{ P_{it}^{ask} \}, \quad (8)$$

которое определяет наличие убытка владельца на интервале аукционов  $[l, r]$  (границы интервала  $l$  и  $r$  могут быть заданы индивидуально). В случае установки высокой цены владельца на аукционах (8) для торгового автомата предлагается использовать следующее правило: в случае отсутствия реализации  $L_j^{bid}$  на  $t$ -ом аукционе владелец на следующем  $(t+1)$ -ом аукционе  $A_{t+1}$  устанавливает цену  $P_{it+1}^{bid}$  равную максимальной цене клиента на  $A_t$ , т.е.:

$$P_{it+1}^{bid} = \max \{ P_{it}^{ask} \}. \quad (9)$$

В отличие от владельцев ресурсов, для покупателей (клиентов) имеются следующие ограничения:

$$Budget_{it} - Cost_{it} \geq 0, \quad (10)$$

где  $Budget_{it}$  – бюджет  $i$ -ого клиента для  $t$ -ого аукциона;

$$Cost_{it} = P_{it}^{ask} * V_{it}^{ask} * T_{it}, \quad (11)$$

где  $T_i$  – время использования ресурсов объемом  $V_i^{ask}$ .

Выигрыш для клиента определяется на основе произведения разницы между ценой продажи и ценой покупки ресурсов  $P_{jt}^{bid} - P_{it}^{ask}$ , объема ресурсов  $V_{it}^{ask}$  и времени резервирования (покупки) ресурсов  $T_{it}$  следующим образом:

$$WIN_{it} = (P_{jt}^{bid} - P_{it}^{ask}) * V_{it}^{ask} * T_{it} . \quad (12)$$

Таким образом, эффект от участия клиента в аукционах максимизируется в соответствии со следующим критерием:

$$\sum_t^p a_t * (P_{jt}^{bid} - P_{it}^{ask}) * V_{it}^{ask} * T_{it} \rightarrow \max , \quad (13)$$

где  $a_t$  – признак положительной реализации заявки клиента (1 или 0).

Для стимулирования изменения цены клиента  $P_{it}^{ask}$  в системе вводится следующая система правил и ограничений:

$$\sum_{t=l}^r a_t * (P_{jt}^{bid} - P_{it}^{ask}) * V_{it}^{ask} * T_{it} \leq 0 . \quad (14)$$

В случае отсутствия реализации  $L_i^{ask}$  на  $t$ -ом аукционе клиент на следующем  $(t+1)$ -ом аукционе  $A_{t+1}$  устанавливает цену  $P_{it+1}^{ask}$ , равную минимальной цене владельцев ресурсов  $\min\{P_{jt}^{bid}\}$  на предыдущем аукционе  $A_t$ :

$$P_{it+1}^{ask} = \min\{P_{jt}^{bid}\} . \quad (15)$$

При условии сохранения ограничения на бюджет  $Budget_{it}$  должно выполняться условие:

$$(Budget_{it} - P_{it+1}^{ask} * V_{it}^{ask} * T_{it}) \geq 0 . \quad (16)$$

Поскольку данный механизм двойного аукциона обладает адаптационными возможностями, рассмотрим результаты его проведения в условиях использования приведенных ранее правил изменения цены для владельцев ресурсов и клиентов.

Для примера рассмотрим результаты участников на трех аукционах при условии, что дополнительные участники (клиенты) не будут добавлены в аукционы, пока не будут заняты все ресурсы владельцев. Данное условие было использовано только для быстрого получения конечного результата. На первоначальном состоянии до первого аукциона (состояние A0) (см. рис. 1) имеются три владельца (далее обозначаемого В) ресурсов В1 (цена = 12 у.е.), В2 (цена = 10 у.е.), В3 (цена = 9 у.е.), а также четыре клиента К1 (цена = 8 у.е.), К2 (цена = 6 у.е.), К3 (цена = 11 у.е.), К4 (цена = 10 у.е.).

Для проведения аукциона А1 заявки владельцев упорядочиваются по возрастанию цены, заявки клиентов – по убыванию (это ключевое условия

механизма двойного аукциона и автокроссинга). Такое упорядочивание цен на ресурсы позволяет для владельцев установить приоритеты тех заявок, которые имеют наименьшую цену ресурса, и владельцы готовы реализовать свои ресурсы по такой цене. Таким образом, владельцы «дешевых» ресурсов всегда имеют конкурентное преимущество в их реализации и могут организовать достаточно плотный график использования своих ресурсов. Цены клиентов упорядочиваются по убыванию, что позволяет тем клиентам, которые заявили большую цену, получить приоритет в выборе наименьшей цены владельцев ресурсов. Однако, большая цена предполагает наличие риска того, что клиенты переплатят за ресурс. Так, например, если освобождается большое количество ресурсов владельцев, то их средняя цена на текущем аукционе может быть гораздо ниже, чем на предыдущем. Соответственно, клиенты, которые ориентировались на средние или максимальные цены предыдущего аукциона, могут оказаться в проигрыше.

В рассматриваемом примере (см. рис. 1), согласно автокроссингу, верхним в списке владельцев становится владелец В3, верхним в списке клиентов – клиент К3. Согласно очередности и выполняя условия (7), (8), (14), (16), формируем пары «владелец-клиент» сделки: (К3, В3) и (К4, В2). Отметим, что стимулирование цены клиента происходит за счет самого механизма двойного аукциона: если у клиента лучшая (большая) аукционная цена покупки, то для него существует большая вероятность получить и лучшую (меньшую) цену продажи. Для второго аукциона торговый автомат согласно правилам (9) и (15) изменяет цены для владельцев и клиентов: В1 устанавливает максимальную цену клиента предыдущего аукциона (цена = 10 у.е.), а К1 и К2 устанавливают минимальную цену владельца (цена = 9 у.е.). Сделок во втором аукционе не происходит. Для третьего аукциона торговый автомат согласно правилам (9) и (15) изменяет цены для владельцев и клиентов: В1 устанавливает максимальную цену клиента предыдущего аукциона (цена = 9 у.е.), а для К1 и К2 устанавливает минимальную цену владельца для 2-ого аукциона (цена = 10 у.е.). В результате получаем последнюю сделку: (К1, В1).

Следует отметить, что в ходе проведения двойного аукциона с независимыми ставками каждый участник максимизирует полезность, назначая справедливую индивидуальную оценку ценности ресурса. Другими словами, стратегия объявления справедливых оценок является доминирующей для однократных двойных аукционов. Приведенный пример показывает, что при всех преимуществах двойного аукциона существует и ряд ограничений, которые влияют на эффективность использования торгового автомата для торговли Грид-ресурсами:

двойной аукцион не позволяет осуществить исследование цен (выявление клиентами рыночных цен, если они не уверены в своей оценке), кроме, как посредством участия клиентов в нескольких последовательных аукционах;

продавцы могут использовать корпоративные соглашения о нижних границах своих цен, что позволит увеличить их прибыли или стимулировать рост цен клиентов. Данная ситуация возможна в случае существования устойчивого превышения спроса над предложением ресурсов и небольшого количества владельцев ресурсов на рынке; в серии последовательных двойных аукционов

стратегія оголошення учасниками своїх справедливих оцінок більше не являється домінуючою, оскільки включаються механізми адаптації цін, штрафів (убытков владельцев, возникающих как результат простоя ресурсов).

Таким образом, предложенная модификация механизма двойного аукциона имеет смысл при существовании большого количества коммерческих кластеров (владельцев ресурсов Грид).

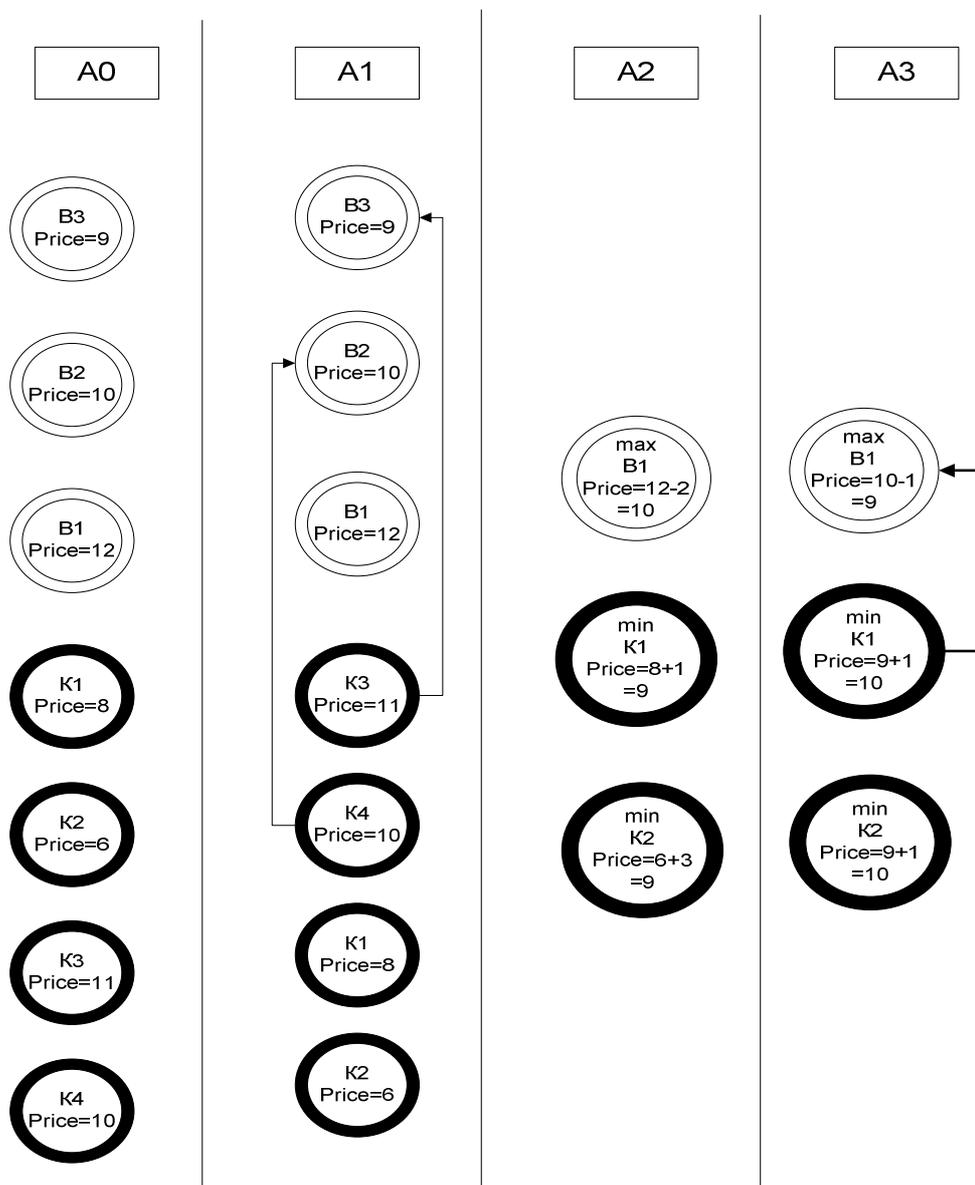


Рис. 1. Пример реализации двойного аукциона

Данный пример показывает адаптационные возможности двойного аукциона для определения рыночной цены при использовании торгового автомата. При

этом установка высокой цены покупки на старте аукциона может обеспечить клиенту выигрыш в покупке ресурсов, однако также несет и риск покупки ресурса по высокой цене заявки.

### 3. Имитационное моделирование двойного аукциона

Для анализа эффективности проведения торгов ресурсов распределённой системы Грид на основе использования механизма двойного аукциона была разработана программная реализация имитационной модели. Имитационное время в программе определяется собственным интервалом времени – эпохой (минимальная в программе единица времени).

Программа включает 3 основных блока:

1. Блок генерации начальных исходных данных для имитационного моделирования.

В данном режиме программы («Исходные данные») указываются параметры нормального закона (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение) для генерации исходных данных для следующих компонент имитационной модели:

компоненты владельцев ( $m$  – количество владельцев,  $L_j^{bid} \{ P_j^{bid}, V_j^{bid} \}$ ). В программной реализации имитационной модели  $V_j^{bid}$  определяется как произведение производительности ресурсов на их количество. Для выполнения условия (1) генерируется штраф ( $Penalty_j$ ) и рассчитывается граница (порог) цены владельца на основе равенства  $Income_{j\min} = Cost_j + Penalty_j$ , где постоянные затраты  $C_j$  и минимальное время использования ресурсов  $T_{\min}$  в программе задаются как константы ( $T_{\min} = 1$  эпохе). Нижняя граница необходима для блокирования установки цены владельца меньшей пороговой цены;

компоненты клиентов ( $n$  – количество клиентов,  $L_i^{ask} \{ P_i^{ask}, V_i^{ask}, T_i \}$ ). В программной реализации имитационной модели  $V_j^{bid}$  рассчитывается на основе произведения количества заданий на требуемую производительность ресурсов. Кроме условий  $P_j^{bid} \leq P_i^{ask}$  и  $V_j^{bid} \geq V_i^{ask}$  в программе реализуется дополнительное условие для соответствия производительности ресурсов владельца требуемой производительности ресурсов для заданий клиента.  $T_i$  определяет сложность (трудоемкость) выполнения заданий для клиента, что позволяет определить интервал времени (количество эпох), когда ресурсы владельца будут заняты в случае совершения сделки по следующей формуле: (время использования ресурсов\*количество заданий\*требуемая производительность)/(количество ресурсов\*производительность ресурсов владельца).

Таким образом, перед началом непосредственного моделирования формируется два множества заявок –  $L_j^{bid}$  и  $L_i^{ask}$  (рис. 2).

## 2. Блок имитационного моделирования.

Автоматически множество заявок  $L_j^{bid}$  упорядочивается по возрастанию цены,  $L_i^{ask}$  – по убыванию. По правилам автокроссинга ищется соответствие текущей цены клиента и владельца ресурсов. Если соответствие найдено и требуемая производительность ресурса меньше или равна производительности ресурса владельца, то сделка совершается по цене владельца ресурса. Если производительность ресурса не соответствует, то выбирается следующий по списку владелец (заявка) и повторяется процедура автокроссинга. Для участников, которые не реализовали свои заявки, применяются условия (7), (8) и (14), (16) для последующего изменения цены для владельцев согласно (9), а для клиентов - согласно (15). Если цена владельца согласно (7) уменьшается ниже пороговой величины, то цена устанавливается на уровне пороговой. Владельцы, которые заключили сделку, не участвуют в следующих аукционах до тех пор, пока их ресурсы не освободятся. Клиенты, которые заключили сделку, выставляют новые заявки  $L_i^{ask}$  на следующий аукцион.

## 3. Блок формирования отчетности.

В результате работы имитационной модели для указанного количества эпох программа предоставляет возможность получить статистические отчеты и графики результатов работы имитационной модели для их последующего анализа в разрезах динамики цен (минимальных владельца, максимальных клиента и средних), статистики сделок (количество) и доли сделок для каждой группы участников (сделки по отношению к количеству участников в группе). Для оценки особенности использования двойного аукциона для торгов Грид-ресурсами проведем серию экспериментов. Проведение экспериментов предполагает построение их плана, что позволяет определить общие закономерности изменения количества сделок по эпохам (аукционам) в зависимости от стартовой цены клиентов и владельцев ресурсов, а также их количества на аукционе, количества заданий и ресурсов. Для удобства данные, используемые в эксперименте, представлены в виде табл. 1. В этой таблице приведены следующие поля, используемые при генерации данных для экспериментов: № теста, соотношение количества клиентов и владельцев (при фиксированном количестве владельцев), соотношение цен клиентов и владельцев (при фиксированной средней цене клиента), соотношение количества ресурсов  $V_j^{bid}$  и  $V_i^{ask}$  (при фиксированном среднем значении  $V_j^{bid}$ ). Для возможности генерации максимально полного плана эксперимента (всех возможных комбинаций соотношений между количеством клиентов и количеством владельцев) необходимым условием является фиксация базы для сравнения: например, для соотношения количества клиентов и владельцев в качестве базы использовано существующее количество владельцев (что соответствует реальной ситуации, когда количество владельцев имеет меньшую дисперсию (вариацию), чем количество пользователей). Для соотношения цен клиентов и владельцев в качестве базы использована средняя цена клиентов, которая, как показывает практика, более консервативна, чем средняя цена владельцев (цена клиентов имеет меньшую дисперсию (вариацию)).

Характеристики  $C_j, T_{it}, T_{\min}$  были определены как константы и в процессе проведения экспериментов не изменялись.

Согласно плану проведения экспериментов исходные данные для моделирования генерировались по нормальному закону согласно приведенным средним значениям и среднеквадратическим отклонениям (СКО), результаты аукционов формировались по времени  $t$  их осуществления (эпохам). Следует отметить, что в экспериментах на каждой эпохе (аукционе) генерировались новые заявки клиентов.

Рассмотрим более подробно результаты теста (эксперимента) 6. Тест 6 использует сгенерированные исходные данные, полученные согласно следующим условиям: клиентов больше, чем владельцев; цена клиента меньше цены владельца; среднее количество объемов ресурсов у владельцев  $V_j^{bid}$  меньше требуемого среднего количества объема ресурсов для клиентов  $V_i^{ask}$ .

Система моделирования ценообразования для GRID в условиях двойного аукциона									
Моделирование Экспорт									
Исходные данные		Сгенерированные данные		Динамика цен		Статистика сделок		Доля сделок	
Владельцы					Клиенты				
Производительность	Количество ресурсов	Цена	Порог цены	Штраф	Количество заданий	Требования к ресурсу	Предложенная цена		
85542	13	206385.555051704	196385.555051704	20	18	855	219566.266606204		
98557	19	209639.210368744	199639.210368744	6	24	986	219956.705244249		
85189	13	206297.152637833	196297.152637833	20	18	852	219555.65831654		
107260	24	211815.044840332	201815.044840332	2	29	1073	220217.80538084		
82189	11	205547.196764899	195547.196764899	20	16	822	219465.663611788		
109470	25	212367.412372308	202367.412372308	1	30	1095	220284.089484677		
110686	25	212671.386953621	202671.386953621	1	30	1107	220320.566434435		
98126	19	209531.527426264	199531.527426264	6	24	981	219943.783291152		
91892	16	207973.067932351	197973.067932351	12	21	919	219756.768151882		
106799	23	211699.840453581	201699.840453581	2	28	1068	220203.98085443		
105908	23	211477.074131902	201477.074131902	3	28	1059	220177.248895828		
113040	27	213260.087755892	203260.087755892	0	32	1130	220391.210530707		
98879	19	209719.657352574	199719.657352574	5	24	989	219966.358882309		
111002	26	212750.60609768	202750.60609768	1	31	1110	220330.072731722		
108525	24	212131.338555284	202131.338555284	2	29	1085	220255.760626634		
92660	16	208165.030485626	198165.030485626	9	21	927	219779.803658275		
117039	29	214259.634765001	204259.634765001	0	34	1170	220511.1561718		
98749	19	209687.173054318	199687.173054318	5	24	987	219962.460766518		
91703	16	207925.810696118	197925.810696118	17	21	917	219751.097283534		
117904	29	214476.087006386	204476.087006386	0	34	1179	220537.130440766		
110159	25	212539.804545193	202539.804545193	1	30	1102	220304.776545423		
82201	11	205550.352951407	195550.352951407	20	24	826	219956.705244249		
95616	18	208903.954913219	198903.954913219	7	29	1073	220217.80538084		
104392	22	211097.995904702	201097.995904702	3	30	1095	220284.089484677		
114236	27	213558.896343652	203558.896343652	0	24	981	219943.783291152		
96118	18	209029.606082911	199029.606082911	7	28	1068	220203.98085443		
86046	13	206511.613969106	196511.613969106	20	32	1130	220391.210530707		
85592	13	206397.899484975	196397.899484975	20	31	1110	220330.072731722		
109264	25	212316.00968236	202316.00968236	1	21	927	219779.803658275		
96340	18	209084.887017201	199084.887017201	7	24	987	219962.460766518		
84657	12	206164.176757456	196164.176757456	20	34	1179	220537.130440766		
92303	16	208075.791458458	198075.791458458	9	18	855	219566.266606204		
92094	16	208023.518039315	198023.518039315	10	24	986	219956.705244249		

Рис. 2. Сгенерированные данные для моделирования двойного аукциона.

Данный пример является достаточно характерным для Грид-системы. Полученные результаты имитационного моделирования ценообразования на ресурсы Грид приведены на рис. 3.

Табл. 1. Исходные данные для проведения экспериментов

№ теста	Соотношение количества клиентов и владельцев (при фиксированном количестве владельцев)		Соотношение цен клиента и владельца (при фиксированной средней цене клиента)		Соотношение количества ресурсов $V_j^{bid}$ и $V_i^{ask}$ (при фиксированном среднем $V_j^{bid}$ )	
	Количество клиентов $L_i^{ask}$ (среднее/СКО)	Количество владельцев $L_j^{bid}$	Цена клиента $P_i^{ask}$ (среднее/СКО)	Цена владельца $P_j^{bid}$ (среднее/СКО)	Объем ресурсов $V_j^{bid}$ (среднее/СКО)	Объем ресурсов $V_i^{ask}$ (среднее/СКО)
1	45/5	50	950/100	1100/110	45/5	50/6
2	45/5	50	950/100	1100/110	45/5	40/4
3	45/5	50	950/100	900/90	45/5	50/6
4	45/5	50	950/100	900/90	45/5	40/4
5	55/5	50	950/100	1100/110	45/5	50/6
<b>6</b>	<b>55/5</b>	<b>50</b>	<b>950/100</b>	<b>1100/110</b>	<b>45/5</b>	<b>40/4</b>
7	55/5	50	950/100	900/90	45/5	50/6
8	55/5	50	950/100	900/90	45/5	40/4

При увеличении количества средняя цена для группы клиентов и для группы владельцев уменьшается, при этом средняя цена группы клиентов меньше, чем средняя цена группы владельцев, что объясняется большим количеством новых клиентов, которые установили низкие цены на ресурсы. Однако в данном случае механизм двойного аукциона обеспечивает стабилизацию цен для владельцев ресурсов.

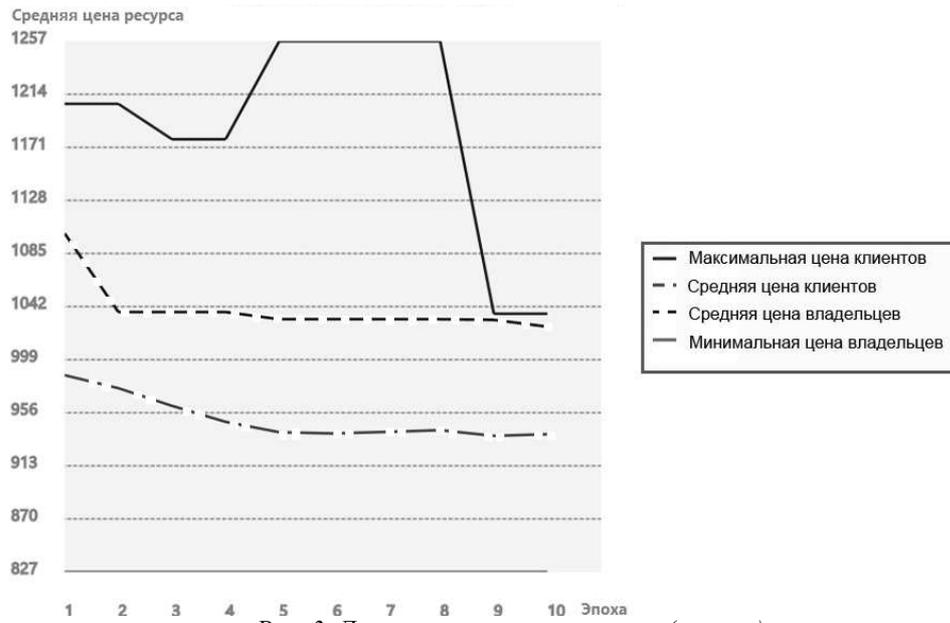


Рис. 3. Динамика цен по аукционам (эпохам)

На рис. 3 показано, что на второй эпохе (аукционе) средняя цена владельцев ресурсов снизилась, и, как результат, количество сделок на эпохе 2 стало расти (рис. 4).

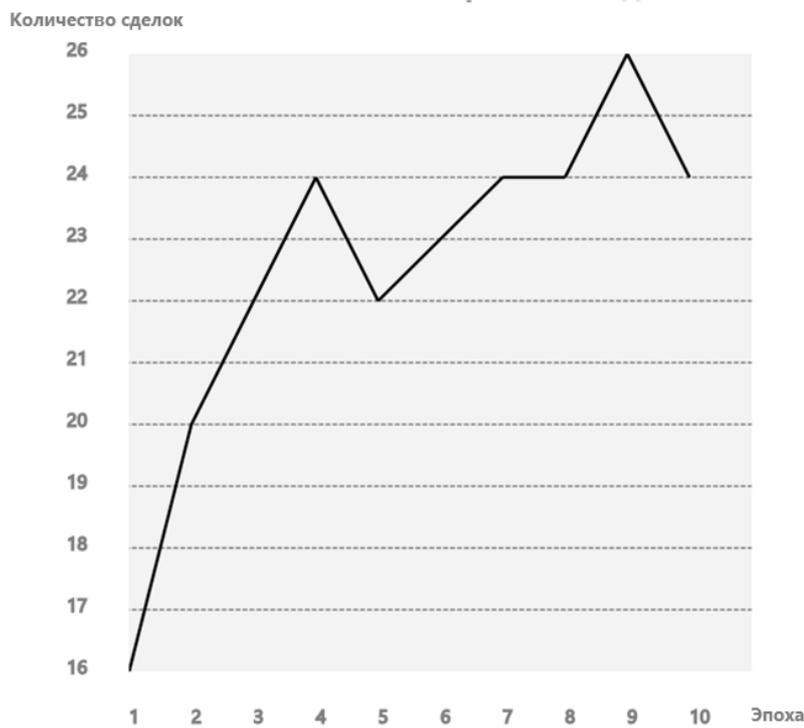


Рис. 4. Количество совершенных сделок по аукционам (эпохам)

После четвертой эпохи (см. рис. 4) наблюдается спад в количестве сделок из-за низкой максимальной цены клиента и малом количестве свободных ресурсов. После пятой эпохи максимальная цена клиентов возрастает, что приводит к росту количества сделок, как только ресурсы владельцев освобождаются. На рис. 4 показано, что рост количества сделок имеет место при условии, что максимальная цена клиента больше, чем средняя цена владельцев. На девятой эпохе отмечается пик количества сделок. Количество сделок увеличивается потому, что освобождаются ресурсы владельцев, и, соответственно, клиенты с ценой большей, чем средняя цена владельца, обеспечиваются ресурсами для решения своих заданий.

На рис. 5 показано изменение доли участников рынка при совершении сделок. Доля сделок владельца рассчитывается как отношение количества владельцев, совершивших сделку, к общему их количеству на аукционе. Доля сделок клиентов рассчитывается как отношение количества клиентов, совершивших сделку, к общему их количеству на аукционе.

Динамика на графике (рис. 5) определяется следующими закономерностями: увеличением количества клиентов (их заявок) и уменьшением количества доступных ресурсов.

В случае генерации большого количества аукционов наблюдается эффект периодичности для количества совершаемых сделок (даже при условии большого количества заявок клиентов  $L_i^{ask}$ ). Данный эффект (см. рис. 6) связан с тем, что трудоемкость (время, требуемое для выполнения) заданий  $T_{it}$ , которая устанавливается для заявок (заданий) клиентов, определяет время освобождения ресурсов.

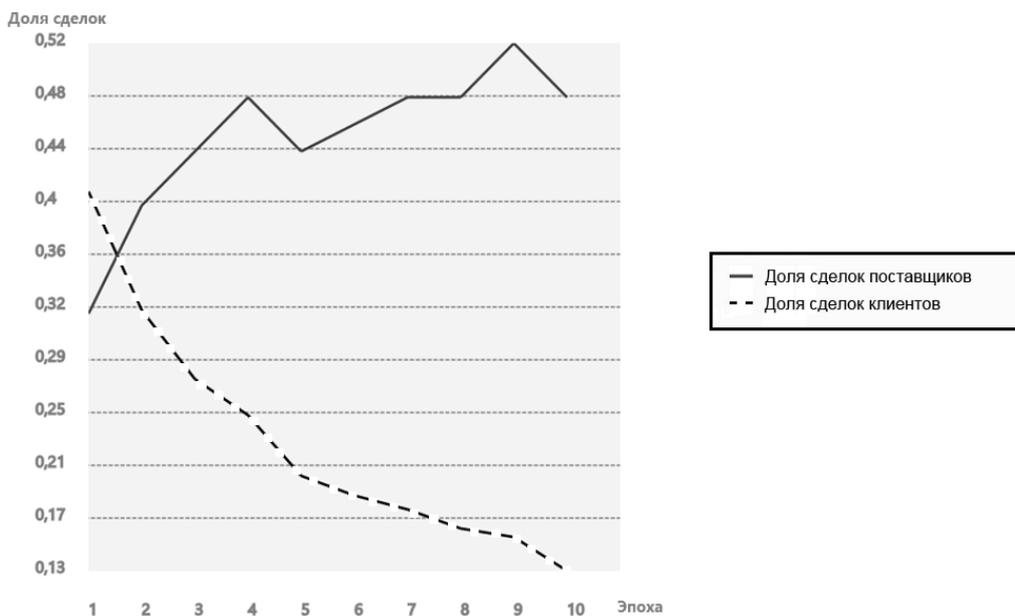


Рис. 5. Доля участников, заключивших сделку для владельцев и клиентов

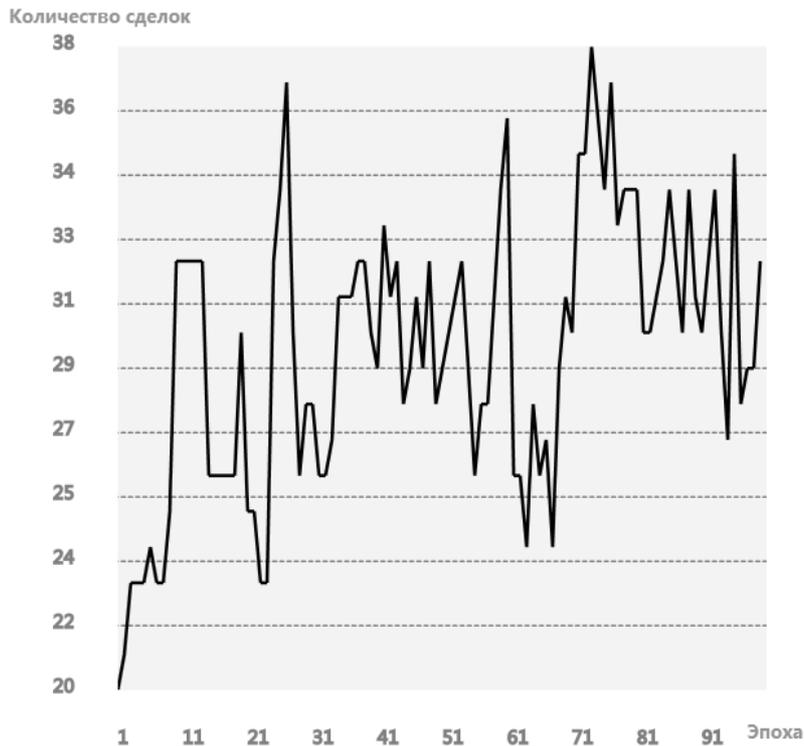


Рис. 6. Количество совершенных сделок при большом количестве аукционов

Для типовых (одинаковых по сложности или трудоемкости) заданий  $L_i^{ask}$  значительная часть ресурсов освобождается одновременно, что приводит к увеличению количества заявок владельцев  $L_j^{bid}$  и их ресурсов  $V_j^{bid}$  на аукционе.

### Выводы

Новизной данного исследования является адаптация двойного аукциона для механизма работы Грид-системы и распределения Грид-ресурсов. Предложенная имитационная модель двойного аукциона на основе автокроссинга позволяет учесть особенности организации ценообразования для Грид-ресурсов в условиях использования разработанных эвристических правил изменения цены для владельцев ресурсов и клиентов и получить устойчивый, в условиях динамики спроса и предложения, прогноз средней цены владельцев и клиентов, а также определить, какая стратегия является выигршной.

Полученные результаты моделирования механизма двойного аукциона для ресурсов Грид-системы позволяют определить особенности их ценообразования, учет которых повысит эффективность торгов ресурсами Грид-системы:

1. Установление ограничений на соответствие производительности ресурсов требованиям клиентов в режиме торгового автомата приводит к существенному изменению цен владельцев ресурсов. Ревизия цен владельцев, согласно условиям (7), (8), происходит более гибко, так как владельцы ресурсов могут пропустить сделку и получить штраф.

2. Для эффективности ценообразования, с точки зрения владельцев ресурсов Грид, необходимо устанавливать максимальные цены, согласно (9), на старте нового аукциона, в случаях, если количество клиентов (заявок) растет, и условие (7) не выполняется. Это обеспечивает рост средней цены сделки для владельцев ресурсов (если, например, количество владельцев не изменяется). Если владельцы ресурсов не начинают аукцион с максимальной цены, то средняя цена владельцев не будет существенно расти, так как будет постоянно обеспечиваться заключение сделок по их предыдущим ценам. При уменьшении количества клиентов цена (в режиме торгового автомата) стабилизируется и не будет меньше пороговой цены владельца.

3. Для повышения эффективности процесса ценообразования, с точки зрения клиентов, нужно устанавливать цену выше средней цены владельцев, но в рамках условия (16). Это связано с тем, что данная стратегия в режиме торгового автомата обеспечивает большую вероятность заключения сделки по лучшей цене (более низкой, чем даже цена заявки клиента).

4. Анализ результатов аукционов на большом временном горизонте (количестве эпох) показывает наличие периодичности заключения сделок, что соответствует периодичности освобождения ресурсов владельцев. Это характерно, в первую очередь, для высокой интенсивности заявок клиентов, использующих ресурсы Грид. Наличие периодичности позволяет прогнозировать скачки изменения цены с учетом периодичности освобождения ресурсов Грид.

5. Предложенный механизм торгового автомата для Грид-системы позволяет обеспечить рост количества сделок по рыночным ценам в условиях двойного аукциона, при этом для повышения индивидуальной эффективности торгов участников необходимо использовать стратегии, основанные на статистических данных результатов предыдущих аукционов.

6. Разработанный программный продукт для реализации имитационной модели за счет использования множества настроек (производительности ресурсов, трудоемкости заданий (заявок), бюджетных ограничений клиентов и штрафов за простой ресурсов) позволяет прогнозировать тенденции в ценообразовании ресурсов в случае ценовой динамики заявок клиентов, что имеет место именно в Грид, кластерных вычислениях, а также облачных сервисах. Это позволяет расширить области применения предложенной модели торгов на практике.

Дальнейшие исследования связаны с разработкой системы правил для торговых автоматов, которые позволят увеличить выигрыш владельцев (или клиентов) в рамках механизма двойного аукциона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Abramson D. High performance parametric modeling with Nimrod/G: Killer application for the Global Grid? / D. Abramson, J. Giddy, L. Kotler. // Proceedings International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2000) – Cancun, Mexico: IEEE Computer Society Press, 2000. – P. 520–528.
2. Amir Y. A cost-benefit framework for online management of a metacomputing system. / Y. Amir, B. Awerbuch, R.S. Borgstrom. // Decision Support Systems. – 2000. – V. 28. – № 1-2. – P. 155–164.

3. Chun B. Market-based cluster resource management: Ph.D. dissertation / B. Chun. – Berkeley, CA: University of California at Berkeley, 2001. – 141p.
4. Barmouta A. GridBank: A Grid accounting services architecture (GASA) for distributed systems sharing and integration. / A. Barmouta, R. Buyya. // Proceedings of the 17th Annual International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2003), 2003. – P. 23–30.
5. Buyya R. Economic models for resource management and scheduling in Grid computing. / R. Buyya, D. Abramson, J. Giddy, H. Stockinger. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.csse.monash.edu.au/~davida/papers/jcpe.pdf>.
6. Buyya R. Nimrod/G: An architecture for a resource management and scheduling system in a global computational Grid. / R. Buyya, D. Abramson, J. Giddy. // Proceedings of the 4th International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region. – 2000. – P. 283–289.
7. Das A. Combinatorial Auction-Based Protocols for Resource Allocation in Grids. / A. Das, D. Grosu. // In: 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium. Denver, Colorado: IEEE Press, 2005. – V. 1. – P. 23–30.
8. Pourebrahimi B. Market-based resource allocation in Grids. / B. Pourebrahimi, K. Bertels, G. Kandru, S. Vassiliadis. // In Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing, 2006. – P. 80.
9. Воронцов К.В. имитационное моделирование реальных биржевых торгов. // ИММОД-2003: 1-ая Всеросс. конф.: докл. – СПб., 2003. – С. 25–29.
10. Меньшиков И.С. Информационная эффективность двойного аукциона. / И.С. Меньшиков, А.В. Першин. – М.: ВЦ РАН, 2001. – 54 с.
11. Минухин С.В. Методика выбора и расчета затрат совокупной стоимости владения вычислительным кластером. / С.В. Минухин, С.В. Знахур. //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 1 (49). – С. 90–96.