

УДК 681.3

## Моделирование процессов балансировки нагрузки в распределенных СУБД, использующих ресурсы сети RUNNet<sup>\*</sup>

В.А. РАЙХЛИН<sup>1</sup>, Р.К. КЛАССЕН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 420111, РФ, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ), доктор физико-математических наук, профессор. E-mail: no-form@evm.kstu-kai.ru

<sup>2</sup> 420111, РФ, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ), аспирант. E-mail: klassen.rk@gmail.com

Это исследование носит сугубо прикладной характер. Мысль о позитивизме балансировки нагрузки в географически распределенных СУБД была подсказана нам одним из ведущих IT-специалистов. Мы занимались этим вопросом в течение последних трех лет. Были рассмотрены различные подходы к балансировке. Среди них выделены два основных: один – для так называемого централизованного варианта, другой – для децентрализованного. В качестве прототипа глобальной сети была выбрана Федеральная университетская компьютерная сеть России RUNNet. На ней были выделены три региональных центра: Москва, Новосибирск, Хабаровск. Между ними и проводилась пресловутая балансировка. За отправную точку исследований было принято рассмотрение динамики дневной нагрузки в этих регионах. Было установлено: 1) степень нагрузки точек обмена трафиком между соседними регионами сдвигается по часовым поясам примерно на 4 часа; 2) средний период пассивности (условного «сна» пользователей) по всем регионам составляет примерно 8 часов. При этом задержка в сети RUNNet между выделенными региональными центрами оказывается много меньше среднего времени исполнения запросов к рассматриваемым в статье консервативным базам данных. Для каждого из предлагаемых методов были разработаны и программно реализованы алгоритмы моделирования. Сделанные ограничения не должны повлиять на качественную оценку эффективности межрегиональной балансировки. Проведенное кросс-моделирование показало существенное повышение пропускной способности географически распределенных СУБД консервативного типа при использовании ресурсов существующих глобальных сетей для целей балансировки нагрузки таких СУБД обоими методами. Централизованная балансировка обеспечивает более равномерное распределение числа обработанных запросов по регионам, но критична к выходу из строя межрегионального балансировщика; децентрализованная – большую помощь удаленным от Центра и потому менее IT-оснащенным регионам. Для уточнения вопроса о влиянии введенных ограничений на достижимую степень эффективности требуется натурное моделирование.

---

<sup>\*</sup> Статья получена 05 июня 2015 г.

**Ключевые слова:** балансировка нагрузки, распределенные СУБД, консервативные базы данных, сеть RUNNet, алгоритмы балансировки, результаты кросс-моделирования

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-90-100

## ВВЕДЕНИЕ

Имеется немало работ по балансировке нагрузки между фермами *Web-серверов* [1–5]. Но до сих пор специалисты не уделяли должного внимания вопросам распределения запросов пользователей между фермами *серверов баз данных*, установленными в регионах, относящихся к разным часовым поясам, с использованием ресурсов существующих глобальных сетей. От решения этих вопросов во многом зависит экономическая эффективность широкого внедрения дорогостоящих информационных ресурсов. Разработка соответствующих методов может существенно повысить занятость названных сетей и пропускную способность распределенной системы баз данных [6].

*Целью данной статьи* является показать на примере фрагмента Российской федеральной сети RUNNet *потенциальную эффективность* балансировки нагрузки в географически распределенных системах консервативных баз данных – так называемых научных баз данных, обновление которых проводится в специально выделяемое время.

RUNNet (*Russian UNiversity Network*) [7, 8] – федеральная университетская компьютерная сеть России, которая обеспечивает образовательным учреждениям доступ к российским и мировым научно-образовательным ресурсам Интернета. В настоящее время сеть RUNNet предоставляет услуги более чем 400 университетам и другим крупным образовательным и научно-исследовательским учреждениям. Инфраструктура сети RUNNet (рис. 1) состоит из опорной инфраструктуры, используемой всеми клиентами, и инфраструктуры доступа к опорной сети, используемой отдельными университетами.

Можно выделить три региональных центра, которые соединены наземными коммуникациями и через которые проходит наиболее интенсивный трафик: Москва, Новосибирск, Хабаровск. Корректность выбора в качестве центров именно этих городов подтверждается рис.1: выбранные центры подключены к магистральному каналу передачи данных, а ближайшие города получают доступ в сеть через них. Помимо своих каналов связи сеть RUNNet использует дополнительные сети обмена трафиком (*Internet Exchange*) [9]. Выделенным региональным центрам соответствуют две точки обмена: Москва – Московский *Internet Exchange* (MSK-IX) (рис. 2), Новосибирск – Новосибирский *Internet Exchange* (NSK-IX) (рис. 3). Наиболее близкая точка обмена трафиком для Хабаровска – Владивостокский *Internet Exchange* (VLV-IX) (рис. 4).

Достижение указанной ранее цели статьи связывается с *проведением модельного кросс-эксперимента*. При этом считается, что уровень трафика меньше 1/3 максимального отвечает пассивности региона. Соответственно, средний период «сна» по всем регионам ~ 8 часов. Степень загрузки точек обмена трафиком между соседними регионами сдвигается ~ на 4 часа по часовым поясам.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Модели задержек в глобальных сетях детально рассмотрены в работе [10]. Задержка в сети RUNNet между выделенными региональными центрами была измерена с помощью сервиса *looking glass* [11]. В итоге 15 запусков (5 запусков на каждое направление) получены значения среднего времени между отправкой запроса и получением ответа (табл. 1).

Таблица 1

Задержки между выделенными региональными центрами

Начальная точка	Конечная точка	Время (мс)
<i>msk-m9-3-gw.runnet.ru</i>	<i>nsk-ttk-1-gw.runnet.ru</i>	49
<i>msk-m9-3-gw.runnet.ru</i>	<i>khh-ttk-1-gw.runnet.ru</i>	112
<i>nsk-ttk-1-gw.runnet.ru</i>	<i>khh-ttk-1-gw.runnet.ru</i>	172

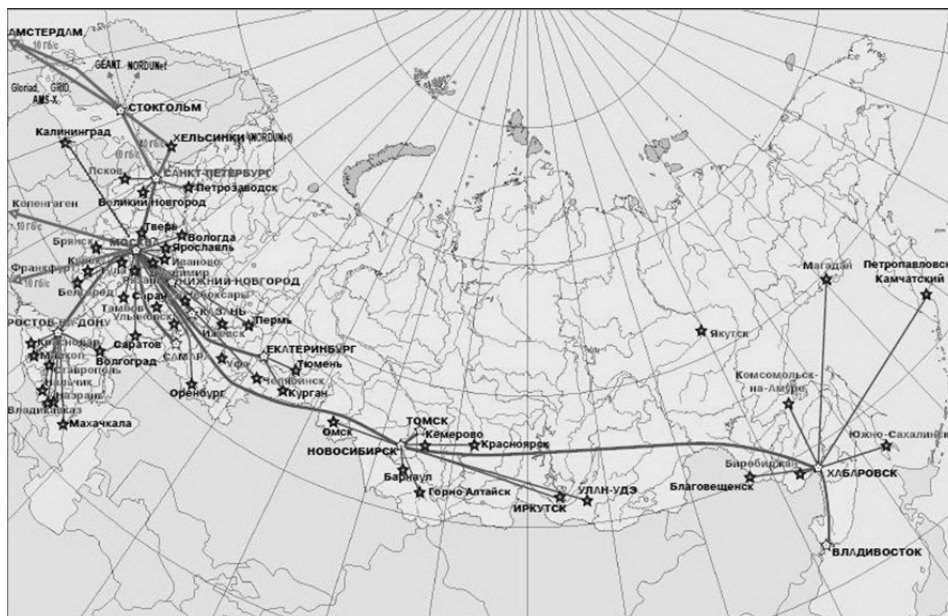


Рис. 1. Инфраструктура сети RUNNet

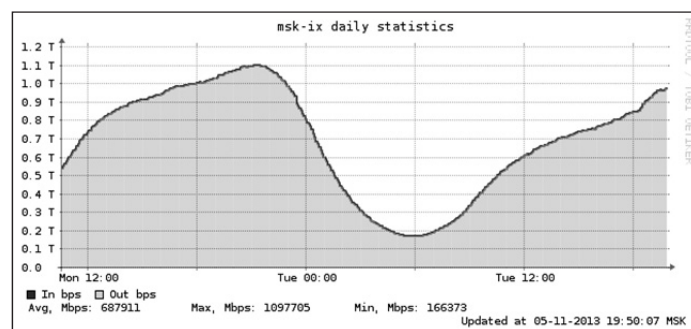


Рис. 2. Нагрузка на Московский Internet Exchange за день

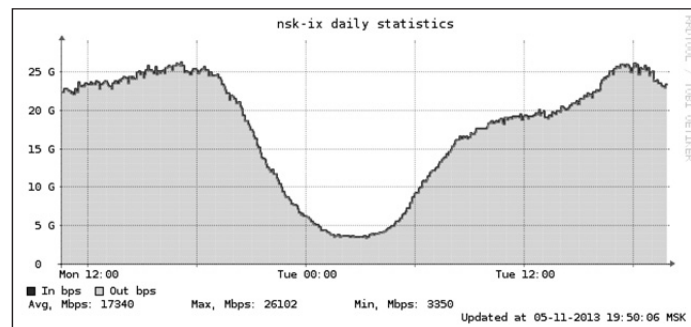


Рис. 3. Нагрузка на Новосибирский Internet Exchange за день

Результат nsk-ttk-1-gw.runnet.ru – khb-ttk-1-gw.runnet.ru оказался больше результата msk-m9-3-gw.runnet.ru – khb-ttk-1-gw.runnet.ru, так как узел nsk-ttk-1-gw.runnet.ru получает доступ к khb-ttk-1-gw.runnet.ru через msk-m9-3-gw.runnet.ru. Найденные задержки оказываются много меньше среднего времени исполнения рассматриваемых в статье запросов (табл. 2; найденные времена исполнения запросов теста *TPC H* на одном сервере 2 *Six-core Intel Xeon E5-2640 CPU/2,5GHz/128GB RAM* при объемах баз данных для этого теста  $V_{БД} = 5, 10, 15GB$  и использовании *MySQL* в качестве инструментальной СУБД). Поэтому в дальнейшем они не учитываются, как и времена ожидания запросов в очередях RUNNet.

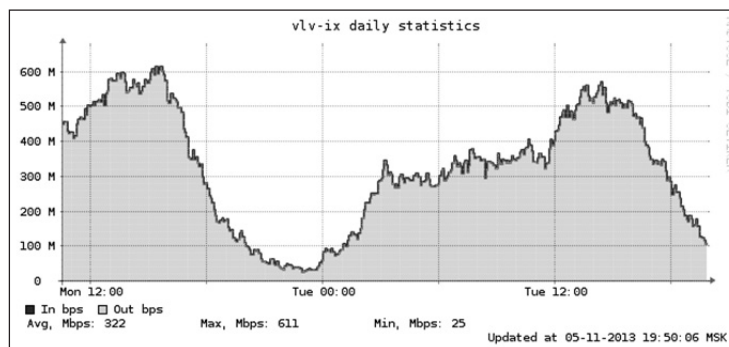


Рис. 4. Нагрузка на Владивостокский Internet Exchange за день

Таблица 2

Времена выполнения запросов, с

№ запроса $V_{БД}$ , GB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	132,4	1,2	13,2	7,2	9,3	16,1	8,7	23,6	47,4	16,2	1,6	22,7	28,3	18,3
10	256,8	2,1	25	14,3	17,3	31,8	16,8	47,8	89,5	32,6	3,3	44,3	55	36,3
15	385,6	3,1	38,3	21,7	27,5	47,7	24,4	72,7	136	64,6	5	66,5	85,7	54,8

По условию система в целом однородна (не гетерогенна): во всех  $r$ -регионах,  $r \in \{1, \overline{q}\}$ , используются одинаковые СУБД $_r$  и серверы баз данных  $IO_{r\ell}$ ,  $\ell \in \{1, \overline{n_r}\}$ . Любой  $IO_i$  хранит копии всех БД $_r$ . В течение астрономических суток серверы всех регионов работают непрерывно. Но степень временной активности пользователей каждого региона зависит от часового пояса, которому этот регион принадлежит.

Запросы пользователей  $r$ -региона поступают в балансировщик нагрузки РБН $_r$  между серверами этого региона в течение всего периода активности региона. Если все  $r$ -серверы заняты обработкой, то запрос помещается в очередь РБН $_r$ . Продвижение очереди – по завершении обработки одним из  $r$ -серверов. Способ пополнения  $r$ -очереди новым запросом зависит от принятого метода балансировки. В случае централизованной балансировки перераспределением запросов между регионами *по сети обмена трафиком* ведает межрегиональный балансировщик нагрузки МРБН. Он выполняет балансировку в динамике работы системы с учетом текущего состояния очередей всех РБН $_r$ . Но возможна и децентрализованная балансировка, когда МРБН отсутствует.

Модельный эксперимент проводится для выделенных ранее трех регионов на специально разработанной кросс-системе моделирования, реализованной на одном ПК. Структура модели в случае централизованной балансировки показана на рис. 5.

Принятые ограничения

1. В соответствии с предыдущим пользователи каждого региона активны в течение 2/3 суток (16 часов реального времени). Время «сна» – 1/3 суток (8 часов). Сдвиг часовых поясов между соседними регионами равен 1/6 суток (4 часа реального времени). Сутки делятся на 6 одинаковых 4-часовых временных интервалов  $t_i$ ,  $i \in \{1, \overline{6}\}$ . Активность пользователей по регионам см. на рис. 6.

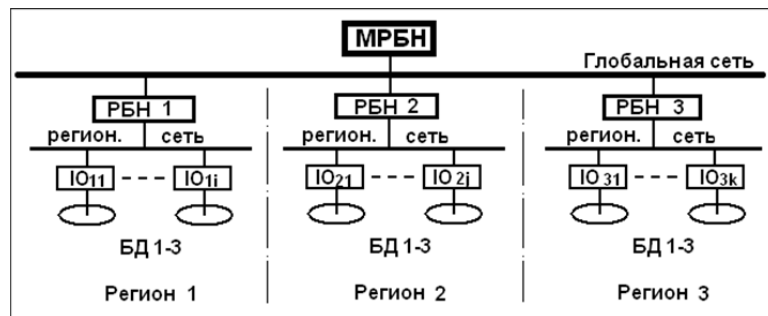


Рис. 5. Структура модели

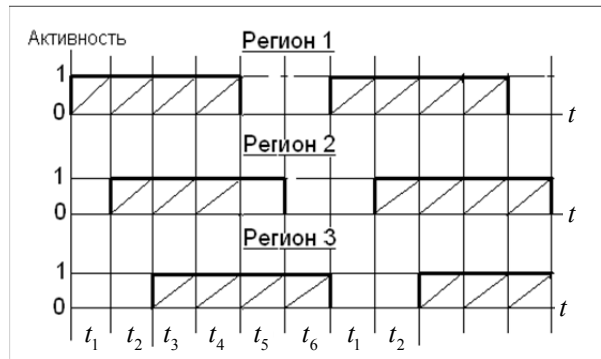


Рис. 6. Состояния активности заявок по регионам

Интервалы времени:

- $t_1$  – запросы поступают только от пользователей региона 1;
- $t_2$  – запросы поступают от пользователей регионов 1 и 2;
- $t_{3,4}$  – запросы поступают от пользователей всех регионов;
- $t_5$  – запросы поступают от пользователей регионов 2 и 3;
- $t_6$  – запросы поступают только от пользователей региона 3.

В  $r$ -регионе,  $r \in \{1, 3\}$ : число серверов  $n_r = r$ ; число пользователей  $N_r = 30n_r$ ; объем базы данных  $V_{БДr} = (5GB)n_r$ .

В момент активизации любого  $r$ -региона его очередь пополняется  $N_r$  запросами своего региона. Балансировка нагрузки между отдельными  $IO_{r\ell}$ -серверами  $r$ -региона выполняется «вкруговую» [12, 13]. Очередь запросов в каждом сервере – единичная. Поэтому если к моменту активизации  $r$ -региона очередь РБН <sub>$r$</sub>  нулевая и все его серверы завершили обработку, то начальная длина его очереди в этот момент  $(L_r)_{нач} = N_r - 2n_r$ . Первоочередной запрос из очереди РБН <sub>$r$</sub>  сразу передается в завершивший обработку  $r\ell$ -сервер.

Моделирование начинается в момент активизации региона 1 ( $t = 0$ ). Длины очередей всех регионов к этому моменту – нулевые, и все серверы – «свободны». Время «разгона» модели, по истечении которого начинаются измерения, – 2 «модельных суток».

Исследования проводятся на подмножестве запросов теста *TPC H* [14] без операций записи (14 запросов в табл. 2). По завершении обработки запроса активного  $r$ -региона РБН <sub>$r$</sub>  случайным образом выбирает новый запрос из подмножества запросов своего региона и пополняет им свою очередь. Если же  $r$ -регион пассивен, то указанное действие не производится. Дальнейшее пополнение очереди РБН <sub>$r$</sub>  зависит от принятого способа балансировки. Сравниваются два метода балансировки – при наличии и отсутствии МРБН.

Для проведения модельного эксперимента были предложены следующие методы балансировки нагрузки в территориально распределенных СУБД.

## 2. ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ МЕТОД

В динамике работы в каждой очереди могут находиться запросы из разных регионов. Результат обработки запроса передается любым  $IO_{r\ell}$  своему РБН <sub>$r$</sub> , который отсылает ответ по истинному адресу с указанием региона.

Затем продвигает свою очередь и подсчитывает ее новый вес  $W_r$ , значение которого предлагается определять как

$$W_r = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{L_i} (V_{\sigma})_{ij} \right] / \left[ L_r (V_{\text{БД}_i})_{\max} \right] \right\} \{ (n_i)_{\max} / n_r \}; \quad r, i \in \{ \overline{1, q} \}.$$

Здесь  $L_i$  – число запросов из  $i$ -региона в текущей  $r$ -очереди длиной  $L_r$ ;  $V_{\text{БД}_i}$  – объем БД $_i$  (базы данных  $i$ -региона);  $(V_{\sigma})_{ij}$  – суммарный объем отношений  $j$ -запроса ( $j = \overline{1, L_i}$ ) к БД $_i$ , подлежащих обработке в  $r$ -очереди (табл. 3).

Таблица 3

Найденные значения  $V_{\sigma}, GB$  для  $V_{\text{БД}} = 5, 10, 15GB$  теста *TPC H*

№ за- проса $V_{\text{БД}},$ GB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	3,21	0,65	4,05	3,95	4,06	3,21	4,06	4,16	4,59	4,05	1,61	3,95	0,85	3,31
10	6,46	1,30	8,16	7,95	8,18	6,46	8,18	8,38	9,25	8,16	3,23	7,95	1,70	6,67
15	9,74	1,95	12,31	11,98	12,33	9,74	12,33	12,64	13,94	12,31	4,87	11,98	2,56	10,05

Вычисленное значение передается МРБН, который обеспечивает равенство весов всех очередей. Перераспределение запросов между  $r$ -очередями реализуется следующим образом. Всякий раз по получении новой информа-

ции МРБН вычисляет средний вес  $M(W_r) = \sum_{r=1}^q W_r / q$ . Затем он связывается

с РБН $_r$ , для которых  $\Delta_r = W_r - M(W_r) > 0$ , с требованием передачи ему одного запроса из конца их  $r$ -очереди. Полученный запрос он передает в РБН $_r$  с минимальным  $W_r$ . Цикл неизменно повторяется с перерывами на пересылку ответов от РБН $_r$  на запросы из других регионов.

### 3. ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ МЕТОД

По-прежнему в каждом регионе обрабатываются запросы из разных регионов. Но «чужие» запросы могут поступать только по исчерпании очереди «своих» запросов. При  $L_r = 0$  РБН $_r$  высылает требование РБН $_k, k \neq r$  ( $r, k \in \{ \overline{1, q} \}$ ),  $L_k \neq 0$ , передать ему значение веса  $W_k$  своей очереди. Этот вес предлагается определять как

$$W_r = \left\{ \left[ \sum_{j=1}^{L_k} (V_{\sigma})_{rj} \right] / \left[ L_r (V_{\text{БД}_i})_{\max} \right] \right\} \{ (n_i)_{\max} / n_r \}.$$

Получив нужные сведения,  $РБН_r$  выставляет в адрес  $РБН_k$  с максимальным весом  $W_k$  требование переслать его *первоочередной* запрос в  $РБН_r$ . Полученный ответ он возвращает  $РБН_k$ . В этом методе веса очередей, исчерпавших запросы своего региона, не подсчитываются вплоть до момента новой инициализации региона.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для каждого метода было выполнено по три запуска модели со случайным потоком запросов, генерируемых по равномерному закону. Каждый запуск проводился в течение трех «модельных суток», из них двое суток – на «разгон» модели. В табл. 4, 5 приведены усредненные по трем запускам результаты кросс-моделирования, полученные по каждому методу и региону с использованием данных табл. 2, 3.

Таблица 4

Количество обработанных запросов за сутки

Метод	Регион № 1	Регион № 2	Регион № 3	Итого
Без балансировки	7152,0	7297,3	7211,7	21661,0
Централизованный	13130,0	10369,0	9387,3	32886,3
Децентрализованный	16812,0	9314,7	8844,7	34971,3

Таблица 5

Увеличение пропускной способности по регионам, %

Метод	Регион № 1	Регион № 2	Регион № 3	В среднем
Централизованный	84	42	30	52
Децентрализованный	135	28	23	61

Как следует из табл. 4 и 5, оба рассмотренных метода достаточно эффективны. При этом централизованная балансировка обеспечивает более равномерное распределение числа обработанных запросов по регионам, а децентрализованная – большее увеличение пропускной способности системы в целом. На множестве взаимосвязанных регионов прирост пропускной способности для потока региональных запросов всегда повышается при переходе к региону с меньшей ресурсоемкостью и достигает максимума в регионе с минимальными ИТ-ресурсами.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в статье результаты кросс-моделирования говорят о существенном повышении пропускной способности территориально распределенных СУБД консервативного типа при использовании ресурсов существующих глобальных сетей для целей балансировки нагрузки таких СУБД. Сделанный вывод должен сохранить силу и для реальных условий функциониро-



вания. Для уточнения вопроса о влиянии введенных ограничений на достижимую степень эффективности требуется моделирование, более близкое к натурному. Провести его пока затруднительно.

Децентрализованный подход нацелен на максимум помощи «слабейшему» региону, что не всегда приемлемо. Но он проще в реализации и более надежен, ибо выход из строя межрегионального балансировщика полностью нарушит балансировку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балансировка нагрузки: основные алгоритмы и методы [Электронный ресурс] // Блог компании Селектел. – URL: <http://habrahabr.ru/company/selectel/blog/250201/> (дата обращения: 24.12.2015).
2. Балансировка сетевой нагрузки [Электронный ресурс] // АСПЕКТ СПб: web-сайт. – URL: <http://www.aspectspb.ru/solutions/it/highavailability/nlb.html> (дата обращения: 24.12.2015).
3. Чжоу Т. Системы балансировки нагрузки Web-серверов [Электронный ресурс] // Windows IT Pro/RE. – 2000. – № 3. – URL: <http://www.osp.ru/win2000/2000/03/174228/> (дата обращения: 24.12.2015).
4. Бершадский А.М., Курилов Л.С. Исследование стратегий балансировки нагрузки в системах распределенной обработки данных // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 38–48.
5. Савчук И. Балансировка нагрузки сервера по методу SLB [Электронный ресурс]. – URL: <http://bloggerator.ru/page/high-load-balansirovka-nagruzki-servera-po-metodu-sticky-load-balancing> (дата обращения: 24.12.2015).
6. Классен Р.К., Хисамиев Л.Р. Моделирование процессов балансировки нагрузки в глобальных информационных системах // XXI Туполевские чтения (школа молодых ученых): международная молодежная научная конференция, Казань, 19–21 ноября 2013 г.: материалы конференции. – Казань, 2013. – Т. 1. – С. 323–324.
7. RUNNet – Федеральная университетская компьютерная сеть России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.runnet.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).
8. Гугель Ю.В. Федеральная университетская сеть России RUNNet'2014 – 20 лет: инфраструктура и сервисы, новые возможности: [доклад на совещании по развитию и повышению эффективности функционирования сети RUNNet] [Электронный ресурс]. – Саранск, 2014. – URL: <http://www.runnet.ru/news/docs/mrsu2014/mrsu-gugel2014.ppt> (дата обращения: 25.12.2015).
9. IX.RU – Российские точки обмена IP-трафиком [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ix.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).
10. Goonatillake R., Bachnak R. Modeling latency in a network distribution // Network and Communication Technologies. – 2012. – Vol. 1, N 2. – P. 1–11.
11. Райхлин В.А., Минязев Р.Ш. Мультикластеризация распределенных СУБД консервативного типа // Нелинейный мир. – 2011. – Т. 9, № 8. – С. 473–481.
12. Минязев Р.Ш. Распределение потока запросов в параллельных СУБД на платформе вычислительных кластеров // Нелинейный мир. – 2012. – Т. 10, № 3. – С. 173–179.
13. TPC-H – Номерpage [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tpc.org/tpch/> (accessed: 25.12.2015).

*Райхлин Вадим Абрамович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных систем Института компьютерных технологий и защиты информации Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ). Основное направление научных исследований – конструктивное моделирование систем. Имеет 116 научных публикаций, в том числе 6 монографий и 9 учебных пособий. E-mail: [no-form@evm.kstu-kai.ru](mailto:no-form@evm.kstu-kai.ru)

Класен Роман Константинович, аспирант кафедры компьютерных систем Института компьютерных технологий и защиты информации Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНКТУ–КАИ). Основное направление научных исследований – распределенные СУБД. Имеет 3 научные публикации. E-mail: klassen.rk@gmail.com

### ***Modeling of load balancing processes in distributed DBMSs that use the RUNNet resources\****

V.A. RAIKHLIN<sup>1</sup>, R.K. KLASSEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI (KNRTU – KAI), 10, Karla Marksa Street, Kazan, 420111, Russian Federation, D. Sc. (Phys & Math.), professor. E-mail: no-form@evm.kstu-kai.ru

<sup>2</sup> Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI (KNRTU – KAI), 10, Karla Marksa Street, Kazan, 420111, Russian Federation, post-graduate student. E-mail: klassen.rk@gmail.com

This study is of a purely applied nature. One of the leading IT-specialists has proposed an idea of the positivism of load balancing in geographically distributed DBMS. We have been engaged in studying this problem for the past three years and have considered different approaches to balancing. Among them are two main approaches: the first approach is meant for the so-called centralized type and the second one for a decentralized type. The Russian Federal University Network RUNNet was chosen as a global network prototype. It was divided into three regional centers – Moscow, Novosibirsk, and Khabarovsk. We carried out balancing between them. As a starting point of the research, we considered the daily load dynamics in these regions. The results obtained include: 1) the load level at traffic exchange points between neighboring regions shifts for about 4 hours in time zones; 2) an average period of inactivity (a "sleep" condition of users) in all the regions is approximately 8 hours. The delay between the selected regional centers in the RUNNet network is much less than an average query execution time for conservative databases. For each of the proposed methods we developed and implemented modeling algorithms. The imposed restrictions are not to affect qualitative assessment of the interregional balancing effectiveness. The results of cross-simulation showed a significant increase in a throughput of geographically distributed conservative DBMSs which use resources of the existing global networks for the purpose of load balancing by both methods. Centralized balancing provides a more uniform distribution of the number of queries processed in the regions, but is sensitive to failures of the interregional balancer. At the same time decentralized balancing provides more assistance to a region which is farthest from the Center and least IT-equipped. Full-scale modeling on real networks is necessary to clarify the question of the effect of the imposed restrictions on the efficiency level obtained.

**Keywords:** Load balancing; distributed DBMS; conservative DBMS; RUNNet network; algorithms of balancing; results of cross-simulation

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-90-100

### **REFERENCES**

1. *Balansirovka nagruzki: osnovnye algoritmy i metody* [Load Balancing: basic algorithms and methods]. (In Russian) Available at: <http://habrahabr.ru/company/selectel/blog/250201/> (accessed 24.12.2015)

---

\* Received 05 June 2015.

2. *Balansirovka setevoi nagruzki* [Network load balancing]. (In Russian) Available at: <http://www.aspectspb.ru/solutions/it/highavailability/nlb.html> (accessed 24.12.2015)
3. Zhou T. [Web-servers load balancing systems]. Windows IT Pro/RE, 2000, no. 3. (In Russian) Available at: <http://www.osp.ru/win2000/2000/03/174228/> (accessed 24.12.2015)
4. Bershadskii A.M., Kurilov L.S. Issledovanie strategii balansirovki nagruzki v sistemakh raspredelennoi obrabotki dannykh [Research of load balancing strategies in distributed data processing systems]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki – University proceedings. Volga region. Technical sciences*, 2009, no. 4, pp. 38–47.
5. Savchuk I. *Balansirovka nagruzki servera po metodu SLB* [Server Load Balancing by the SLB method]. (In Russian) Available at: <http://bloggerator.ru/page/high-load-balansirovka-nagruzki-servera-po-metodu-sticky-load-balancing> (accessed 24.12.2015)
6. Klassen R.K., Hisamiev L.R. [Modelling of processes in the global load balancing information systems]. *XXI Tupolevskie chteniya (shkola molodykh uchenykh): mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya: materialy konferentsii* [Materials of the International Youth Scientific Conference “XXI Tupolev reading (School for Young Scientists)”], Kazan', 2013, vol. 1, pp. 323–324.
7. RUNNet – Russian Federal University Network. (In Russian) Available at: <http://www.runnet.ru/> (accessed 25.12.2015)
8. Gugel' Yu.V. *Federal'naya universitetskaya set' Rossii RUNNet'2014 – 20 let: infrastruktura i servisy, novye vozmozhnosti: doklad na soveshchanii po razvitiyu i povysheniyu effektivnosti funktsionirovaniya seti RUNNet* [Federal university network RUNNet'2014 – 20 years: infrastructure and services, new opportunities: report at the meeting on the development and efficiency of the network RUNNet]. (In Russian) Available at: <http://www.runnet.ru/news/docs/mrsu2014/mrsu-gugel2014.ppt> (accessed 25.12.2015)
9. IX.RU – IP-traffic exchange points in Russia. (In Russian) Available at: <http://www.ix.ru/> (accessed 25.12.2015)
10. Goonatilake R., Bachnak R. Modeling latency in a network distribution. *Network and Communication Technologies*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 1–11.
11. Raikhlin V.A., Minyazev R.Sh. Multiklasterizatsiya raspredelennykh SUBD konservativnogo tipa [Multiclusterization of distributed DBMS of conservative type]. *Nelineinyi mir – Nonlinear World*, 2011, vol. 9, no. 8, pp. 473–481.
12. Minyazev R.Sh. Raspredelenie potoka zaprosov v parallel'nykh SUBD na platforme vychislitel'nykh klasterov [The distribution of the flow of queries in parallel DBMS on computing clusters platform]. *Nelineinyi mir – Nonlinear World*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 173–179.
13. TPC-H – Homepage. Available at: <http://www.tpc.org/tpch/> (accessed 25.12.2015)