

УДК 681.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ОБЪЕДИНЕНИЕМ  
МЕЖСЕТЕВЫХ ЭКРАНОВ В ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ КЛАСТЕРЫ**

**В.А. Богатырев, М.В Попова, С.В. Богатырев, В.Ю. Кудрявцева, С.Б. Фокин**

Рассмотрена оптимизация многоуровневой вычислительной системы при объединении межсетевых экранов в отказоустойчивые кластеры.

**Ключевые слова:** отказоустойчивость, кластер, межсетевой экран, оптимизация, сервер.

Центры хранения и обработки данных при их высокой производительности и отказоустойчивости должны обладать низкой стоимостью, что обуславливает необходимость их оптимизации.

В качестве объекта оптимизации выберем многоуровневые вычислительные системы, содержащие  $n$  кластерных групп серверов с разделением прав доступа, при объединении межсетевых экранов в отказоустойчивые кластеры, что позволяет существенно повысить надежность и производительность контура обеспечения безопасности и вычислительной системы в целом [1–3].

Для вычислительных систем с выделением  $n$  групп серверов, каждая из которых из соображений информационной безопасности доступна для определенного типа запросов (например, исходя из адреса источника запросов), рассмотрим два варианта объединения резервированных межсетевых экранов в кластеры:

**А.** межсетевые экраны объединяются в единый кластер для всех групп серверов;

**В.** межсетевые экраны объединяются в кластер для каждой группы серверов отдельно.

При оптимизации для вариантов **А** и **В** требуется найти кратность резервирования узлов, при котором достигается минимум среднего времени пребывания запросов при ограничении стоимости реализации системы  $C_0$ . Для вариантов **А** и **В** средние времена пребывания запросов в системе и затраты на их реализацию равны

$$T_A = \frac{v_0}{1-\lambda_0 v_0/n_0} + \frac{v_1}{1-\lambda_0 v_1/n_1} + \sum_{i=0}^n b_i \left[ \frac{v_2}{1-b_i \lambda_0 v_2/M_i} + \frac{V_i}{1-b_i \lambda_0 V_i/m_i} \right],$$

$$T_B = \frac{v_0}{1-\lambda_0 v_0/n_0} + \sum_{i=0}^n b_i \left[ \frac{v_1}{1-b_i \lambda_0 v_1/r_i} + \frac{v_2}{1-b_i \lambda_0 v_2/M_i} + \frac{V_i}{1-b_i \lambda_0 V_i/m_i} \right],$$

$$C_A = n_0 c_0 + n_1 c_1 + \sum_{i=0}^n (c_2 M_i + c_3 m_i + c_a \left[ n_0(1+n_1) + \sum_{i=0}^n M_i(n_1+m_i) \right]),$$

$$C_B = n_0 c_0 + \sum_{i=0}^n (r_i c_1 + c_2 M_i + c_3 m_i + c_a \left[ n_0 + \sum_{i=0}^n (n_0 r_i + M_i(r_i+m_i)) \right]),$$

где  $v_0, v_1, v_2$  – среднее время обслуживания в коммутаторах уровня доступа, межсетевых экранах и внутренних коммутаторах серверных групп;  $V_i$  – среднее время выполнения запросов в серверах  $i$ -ой группы;  $\lambda_0$  – интенсивность потока запросов;  $b_i$  – вероятность запроса к серверам  $i$ -ой группы, число коммутаторов в которой равно  $M_i$ , а число серверов  $m_i$ ;  $n_0$  – число коммутаторов уровня доступа;  $n_1$  – число межсетевых экранов в объединенном кластере для варианта **А**, а  $r_i$  – их число в каждой кластерной группе экранов для варианта **В**. Стоимости сетевых адаптеров равны  $c_a$ , коммутаторов уровня доступа –  $c_0$ , межсетевых экранов –  $c_1$ , коммутаторов внутри серверных групп –  $c_2$ , а стоимость сервера равна  $c_3$ .

Приведем результаты оптимизации при  $n=4$ ;  $b=(0,1; 0,1; 0,1; 0,7)$ ,  $v_0=0,1$ ;  $v_1=0,9$ ;  $v_2=0,1$  с;  $V_0=V_1=V_2=3$  с;  $c_0=1$ ,  $c_1=3$ ,  $c_2=1$ ,  $c_3=6$ ,  $c_a=0,01$  у.е. и ограничении средств на построение системы  $C_0=300$  у.е. Оптимизация проведена в системе компьютерной математики MathCAD-15, при этом установлено, что для варианта структуры **А** при  $\lambda_0=3,7$  1/с оптимальное число коммутаторов доступа  $n_0=3$ , число межсетевых экранов  $n_1=17$ , число серверов в четырех группах равно соответственно 4, 4, 4, 29, а  $M_i=1$ . При тех же условиях оптимальная конфигурация варианта **В** предполагает число сетевых экранов в кластерных группах соответственно равном 2, 2, 2, 5, при том же количестве остального оборудования. Оптимальная структура по варианту **А** обеспечивает среднее время пребывания запросов в системе  $T_a=5,382$  с, а по варианту **В** –  $T_b=5,743$  с, т.е. объединение сетевых экранов по варианту **А** оказывается предпочтительней.

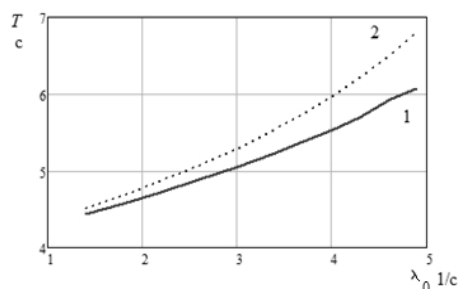


Рисунок. Среднее время пребывания в оптимальных вариантах структур: **А** (кривая 1) и **В** (кривая 2)

Зависимость среднего времени пребывания запросов в системе от интенсивности их поступления  $\lambda_0$  для вариантов объединения экранов **А** и **В**, формируемых в результате оптимизации, представлена кривыми 1 и 2 на рисунке.

Таким образом, рассмотрена оптимизация многоуровневых вычислительных систем с объединением межсетевых экранов в отказоустойчивые кластеры. При потоке запросов с разделением доступа к различным группам серверов показана предпочтительность объединения всех межсетевых экранов в единый кластер (вариант **А**), причем эта эффективность возрастает с ростом загрузки системы. При низкой нагрузке возможна предпочтительность варианта **В**, так как в этом случае затраты на сетевые адаптеры меньше.

1. Романов М. Отказоустойчивая безопасность // Storage News. – 2007. – № 2 (31). – С. 20–24.
2. Богатырев В.А. Динамическое распределение запросов с управляемой функциональной доступностью // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 6. – С. 35–39.
3. Богатырев В.А. К Распределению функциональных ресурсов в отказоустойчивых многомашинных вычислительных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 12. – С. 1–5.

**Богатырев Владимир Анатольевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, Vladimir.bogatyrev@gmail.com

**Попова Марина Викторовна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, marina24-09@mail.ru

**Богатырев Станислав Владимирович** – EMC2, ст. инженер, realloc@gmail.com

**Кудрявцева Вероника Юрьевна Викторовна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, kudryavtsevaveronika@gmail.com

**Фокин Андрей Борисович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, tacit@list.ru