

# ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ОЦЕНИВАНИЕ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Широбоков Владислав Владимирович,**  
г. Санкт-Петербург, Россия, 17126vlad@gmail.com

**Максимов Владимир Андреевич,**  
г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Рассмотрен подход к организации распределенной обработки информации между вычислительными модулями в динамически изменяющейся вычислительной сети и оценивание ее эффективности. Приведена постановка задачи, предложена математическая модель, представлен вариант организации распределенной обработки информации на примере распределенной вычислительной сети орбитальной группировки микроспутников. Проведен анализ зависимости энергозатрат при выполнении вычислений и при передаче данных, а также пропускной способности канала связи от расстояния между динамическими элементами сети.

**Ключевые слова:** динамически изменяющаяся вычислительная сеть; распределенная вычислительная структура; распределенная обработка информации; бортовая вычислительная система.

**Сведения об авторах:** Широбоков В.В., адъюнкт кафедры Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского;  
Максимов В.А., адъюнкт кафедры Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского.

---

## Введение

На современном этапе развития сетевых технологий большое распространение получили динамически изменяющиеся вычислительные сети, которые обладают следующими особенностями:

- имеют большое число элементов (вычислительных устройств), различающихся по производительности, и обменивающихся данными по каналам связи с переменной пропускной способностью;
- объединены в общий ресурс;
- характеризуются сложной зависимостью производительности от режимов энергопотребления и характеристик каналов связи, а также изменением структуры в процессе функционирования;
- допускают влияние взаимного положения узлов на скорость выполнения целевого задания.

Примерами подобных сетей могут служить мобильная сеть переносных компьютеров, распределенная вычислительная система, состоящая из бортовых компьютеров группировки микроспутников и т.д.

Расширение масштабов использования динамических неоднородных вычислительных сетей влечет необходимость повышения автономности их функционирования. Перенос решения ряда задач со стационарных вычислительных средств на мобильные приводит к необходимости увеличения производительности отдельного вычислительного модуля (ВМ) и совершенствования подходов к построению и организации функционирования динамической вычислительной сети в целом [1]. Нарастание производительности ВМ вступает в противоречие с ограничениями по массе, энергозатратам, требованиям по надежности. При этом наращиваемые ресурсы ВМ не будут использованы в полной мере, а будут востребованы лишь на относительно коротких интервалах его функционирования.

Решением данного противоречия является подход, в основу которого положена технология предоставления информационно-вычислительных ресурсов на основе модели «клиент-сервер» с конфигурацией «тонкий клиент» [2]. Данный подход позволяет минимизировать требования к аппаратно-программным ресурсам ВМ клиента, перенося часть информационно-вычислительной нагрузки на центры обработки данных (серверы).

**Постановка задачи организации распределенной обработки информации  
в динамически изменяющейся вычислительной среде**

При организации подхода, в основу которого положена технология предоставления информационно-вычислительных ресурсов, возникает задача оптимального распределения вычислительной нагрузки между «ВМ-клиентов» и «ВМ-серверов» при ограниченном энергоресурсе бортовых источников питания. Исходными данными для организации распределенной обработки являются:

1) Распределенная вычислительная сеть, включающая:

множество  $A = \{a_i\}, i \in 1..m$ , ВМ-клиентов;

множество  $B = \{b_j\}, j \in 1..h$ , ВМ-серверов;

2) Параметры программного обеспечения (ПО) для обработки входной информации в соответствии с предназначением МС

$n$  – количество задач в задании;

$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}$  – количество инструкций в программе для выполнения задания на ВМ, где  $\psi_g = \{S_g, P_g\}, g \in \{1, \dots, n\}$ ,  $S_g$  – число инструкций ПО, выполняющихся строго последовательно,  $P_g$  – количество инструкций ПО, являющихся независимыми друг от друга, и способных выполняться одновременно на разных ядрах процессора;

$u$  – размер одной инструкции (байт);

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  – объем входных данных для соответствующей задачи;

3) Характеристики оборудования ВМ:

$K_i^{cl} = \{L_i^{cl}, W_i^{cl}, z_i^{cl}, P_i^{cl}, P_i^{pr}, P_i^{tr}\}$  – характеристика ВМ-клиентов (1)

$K_j^{ser} = \{L_j^{ser}, W_j^{ser}, z_j^{ser}, P_j^{ser}, P_j^{pr}, P_j^{tr}\}$  – характеристика ВМ-сервера (2)

где  $z_i^{cl}, z_j^{ser}$  – количество ядер в процессоре ВМ,

$L_i^{cl}, L_j^{ser}$  – количество инструкций, выполняемых процессором в единицу времени на ВМ,

$P_i^{cl}, P_j^{ser}$  – мощность системы энергоснабжения на ВМ-клиенте и ВМ-сервере,

$P_i^{pr}, P_j^{pr}$  – мощность, потребляемая процессором ВМ,

$P_i^{tr}, P_j^{tr}$  – мощность, потребляемая приемно-передающей аппаратурой ВМ,

$W_i^{cl}, W_j^{ser}$  – объем энергонезависимой памяти, установленной на ВМ.

4) Параметры аппаратуры для передачи данных по межспутниковому каналу связи:

$$F = \left\{ P_{пер}, G, w, S_{эф}, \eta_{пр}, \eta_{пер}, q, \frac{P_c}{P_{ш}}, \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{min} \right\}, \quad (3)$$

где  $P_{пер}$  – мощность передатчика;

$G$  – коэффициент направленности передающей антенны;

$w$  – коэффициент пропорциональности отношения мощности шумов к ширине полосы пропускания;

$S_{эф}$  – эффективная площадь антенны;

$\eta_{пр}, \eta_{пер}$  – коэффициенты полезного действия приемного и передающего антенно-фидерных трактов;

$q$  – потери, вызванные затуханием энергии сигнала в свободном пространстве, ионизацией слоев атмосферы, шумом в приёмных трактах линий связи, неточностью наведения антенн, вращением плоскости поляризации и другими факторами;

- $\frac{P_c}{P_{ш}}$  – отношение сигнал/шум;  
 $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{min}$  – минимальное отношение сигнал/шум.

Требуется найти такой номер  $k^*$  задачи,  $k^* \in 1, \dots, n$ , при котором выполнение задач  $1, 2, \dots, k^*$  на  $i$  «ВМ-клиенте» и задач  $k^* + 1, k^* + 2, \dots, n$  на  $j$  «ВМ-серверов» обеспечивает наименьшее время  $T_{ij}$  распределенной обработки информации:

$$k^* = \arg \min_{k \in 1, \dots, n} T_{ij}(k, d(t)), \quad (4)$$

при ограничениях:

- 1)  $E^{cl}(k^*, d(t), K^{cl}, F) \leq E_{TP}^{cl}$ ,
- 2)  $E^{ser}(k^*, d(t), K^{ser}, F) \leq E_{TP}^{ser}$ ,
- 3)  $\sum_{g=1}^k v_g + y \sum_{i=1}^k (S_g + P_g) \leq W_i^{cl}$ ,
- 4)  $\sum_{g=k+1}^n v_g + y \sum_{g=k+1}^n (S_g + P_g) \leq W_j^{ser}$ ,

В каждый момент времени распределенная вычислительная среда находится в некотором состоянии, которое изменяется с течением времени. Задача планирования состоит в нахождении оптимального распределения выполнения последовательности задач на клиенте и сервере, которое позволяет сократить  $T_{ij}$  время выполнения целевого задания при ограничениях на допустимые энергозатраты «ВМ-клиента» с учетом изменяющейся пропускной способности канала связи [3].

### Модель распределенной обработки информации в динамически изменяющейся вычислительной среде

Для определения  $T_{ij}$  времени выполнения целевого задания в соответствии с ПО  $\Psi$  необходимо описать модель распределенной обработки информации в динамически изменяющейся вычислительной среде. Общая схема выполнения ПО  $\Psi$  целевого задания на вычислительном модуле  $a_i$  представлена на рисунке 1.

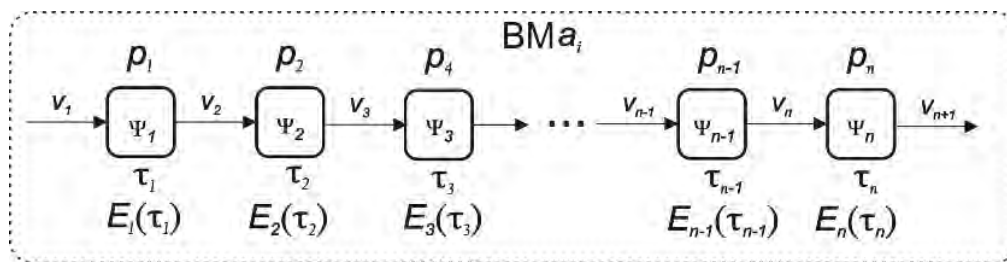


Рис. 1. Схема выполнения задания на одном  $a_i$  ВМ

Время выполнения задачи  $\psi_g$  на вычислительном модуле  $a_i$  определяется по формуле [5]:

$$\tau_{ig} = \frac{1}{L_i^{cl}} \left( S_g + \frac{P_g}{z_i^{cl}} \right); \quad (6)$$

$$\varphi_{jg} = \frac{1}{L_j^{ser}} \left( S_g + \frac{P_g}{z_j^{ser}} \right), \quad (7)$$

- где  $z_i^{cl}, z_j^{ser}$  – количество ядер в процессоре  $a_i$  вычислительном модуле,  
 $L_i^{cl}, L_j^{ser}$  – количество инструкций, выполняемых процессором в единицу времени на вычислительном модуле  $a_i$ ,  
 $S_g$  – количество инструкций программного кода обработки задачи  $\psi_g$ , выполняющихся строго последовательно друг за другом,

$P_g$  – количество инструкций программного кода обработки задачи  $\psi_g$ , являющиеся независимыми друг от друга, которые можно выполнить одновременно на нескольких ядрах процессора вычислительного модуля.

Стохастический характер вычислительной нагрузки обусловлен изменением объема данных и моментами времени поступления этих данных на обработку. Время выполнения последовательности задач ПО на одном вычислительном модуле в динамически изменяющейся вычислительной среде можно задать таблицей 1:

Таблица 1

Время выполнения последовательности задач

Номер задачи	Время выполнения задачи на VM клиенте $a_i$				Время выполнения задачи на VM сервере $b_j$			
	$a_1$	$a_2$	...	$a_i$	$b_1$	$b_2$	...	$b_j$
1	$\tau_{11}$	$\tau_{12}$	...	$\tau_{1i}$	$\varphi_{11}$	$\varphi_{12}$	...	$\varphi_{1j}$
2	$\tau_{21}$	$\tau_{22}$	...	$\tau_{2i}$	$\varphi_{21}$	$\varphi_{22}$	...	$\varphi_{2j}$
3	$\tau_{31}$	$\tau_{32}$	...	$\tau_{3i}$	$\varphi_{31}$	$\varphi_{32}$	...	$\varphi_{3j}$
4	$\tau_{41}$	$\tau_{42}$	...	$\tau_{4i}$	$\varphi_{41}$	$\varphi_{42}$	...	$\varphi_{4j}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$\tau_{n1}$	$\tau_{n2}$	...	$\tau_{ni}$	$\varphi_{n1}$	$\varphi_{n2}$	...	$\varphi_{nj}$

Энергоресурс, затраченный на выполнение задачи  $\psi_g$  на VM  $a_i$ , определяется по формуле [4]:

$$E_{ig}^{cl} = \frac{P_i^{pr}}{L_i^{cl}} \left( S_g + \frac{P_g}{z_i} \right); \tag{8}$$

$$E_{jg}^{ser} = \frac{P_j^{pr}}{L_j^{ser}} \left( S_g + \frac{P_g}{z_j} \right), \tag{9}$$

где  $P_i^{pr}, P_j^{pr}$  – потребляемая мощность процессором VM  $a_i$  и VM  $b_j$  соответственно.

Сложные алгоритмы обработки входных данных требуют, как правило, наличия высокопроизводительного вычислительного оборудования и приемлемого энергоресурса источника питания VM для обеспечения процесса обработки данных. При этом ограничение по массогабаритным характеристикам VM не позволяет устанавливать на него высокопроизводительное вычислительное оборудование и мощный источник питания.

Перенос обработки части задач с VM  $a_i$  на VM  $b_j$  по технологии предоставления вычислительных ресурсов на основе модели «клиент-сервер» позволит уменьшить расход энергоресурса источника питания. Перенос части вычислений с VM  $a_i$  на VM  $b_j$  разделяет выполнение программы на две части. Первая часть задач  $\psi_g, g \in (1, \dots, k)$  выполняется на VM  $a_i$  до момента окончания выполнения  $k$ -й задачи, затем результат выполнения  $k$ -й задачи передается по каналу связи VM  $b_j$ , где продолжается обработка задач  $\psi_g, g \in (k + 1, \dots, n)$ . После обработки данных на VM  $b_j$  результат передается потребителю. Схема распределенной обработки программы между VM  $a_i$  и  $b_j$  представлена на рисунке 2, где  $p_g(S_g, P_g)$  – объем памяти, занимаемый программой для выполнения  $g$ -й задачи,  $t_i$  – длительность решения  $g$ -й задачи при входных данных  $v_i$ ,  $E_i^{cl}(\psi_g), E_j^{ser}(\psi_g)$  – мощность, потребляемая при выполнении  $g$ -й задачи VM-клиента и VM-сервера соответственно.

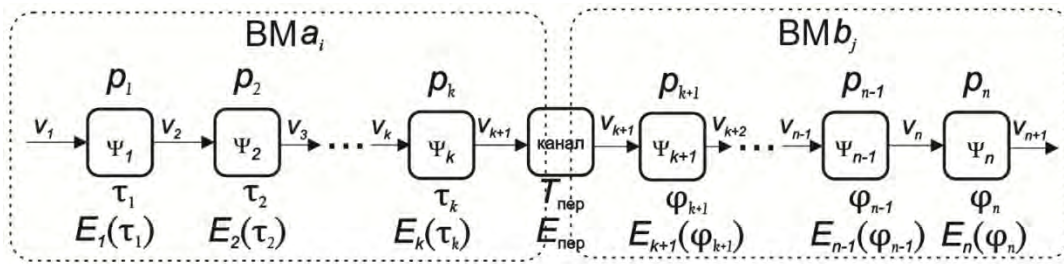


Рис. 2. Схема выполнения задания на  $BM a_i$  и  $BM b_j$

Целью организации распределенной обработки информации между двумя ВМ является минимизация времени выполнения целевого задания при ограничениях на объем памяти ВМ и энергоресурс источника питания.

Динамические характеристики радиоканала связи взаимодействующих узлов мобильной неоднородной сетевой структуры обусловлены изменением взаимного положения ВМ. Расстояние между ВМ  $a_i$  и  $b_j$  в вычислительной среде задано матрицей функций  $\|d(t)\|$ :

$$d(t) = \begin{pmatrix} d_{11}(t) & d_{12}(t) & \dots & d_{1j}(t) \\ d_{21}(t) & d_{22}(t) & \dots & d_{2j}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{i1}(t) & d_{i2}(t) & \dots & d_{ij}(t) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где  $d_{ij}(t)$  – расстояние между ВМ  $a_i$  и  $b_j$  в момент времени  $t$ .

Пропускная способность канала связи между ВМ  $a_i$  и  $b_j$  в момент времени  $t$  при нахождения в зоне прямой видимости определяется следующим выражением [3]:

$$C_{ij}(d(t)) = \frac{P_{\text{пер}} G S_{\text{эф}} \eta_{\text{пр}} \eta_{\text{пер}} q \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)}{4\pi w \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{min}} (d(t))^2}. \quad (11)$$

Время передачи выходных данных  $k$ -й задачи объемом  $v_{k+1}$  между ВМ  $a_i$  и  $b_j$  при пропускной способности канала  $C_{ij}(d(t))$  определяется выражением:

$$t_{ij}^k(d(t)) = \frac{v_{k+1}}{C_{ij}(d(t))}. \quad (12)$$

Время передачи данных между вычислительными модулями  $a_i$  и  $b_j$  в зависимости от номера  $k$  задачи, выполняемой на ВМ  $a_i$ , результат которой передается на ВМ  $b_j$  зависит от расстояния между двумя ВМ и может быть представлено таблицей 2:

Таблица 2

Время передачи входных данных для  $k$  задачи

$k$	1	2	3	4	...	$n$
$t_{ij}$	$t_{ij}^1(d(t))$	$t_{ij}^2(d(t))$	$t_{ij}^3(d(t))$	$t_{ij}^4(d(t))$	...	$t_{ij}^n(d(t))$

Общее время выполнения задания в распределенной вычислительной сети с учетом пропускной способности канала связи во время нахождения в зоне прямой видимости определяется выражением:

$$T_{ij} = \sum_{g=1}^k \tau_{ig} + \sum_{g=k+1}^n \varphi_{jg} + t_{ij}^k(d(t)) + \frac{d(t)}{c}, \quad (13)$$

- где  $k$  – номер задачи, после которой данные объемом  $v_{ki}$  передаются для последующей обработки;
- $\tau_{ig}$  – время обработки  $g$ -й задачи на ВМ  $a_i$ ;
- $\varphi_{jg}$  – время обработки  $g$ -й задачи на ВМ  $b_j$ ;
- $t_{ij}^k(d(t))$  – расстояние  $d_{ij}(t)$  между ВМ  $a_i$  и ВМ  $b_j$  в момент времени  $t$  при условии нахождения их в зоне прямой видимости;
- $c$  – константа,  $c = 299\,792\,458$  м/с.

Суммарный энергоресурс, затраченный на выполнение задач ПО  $\Psi$  с учетом распределения вычислений между ВМ  $a_i$  и  $b_j$ , определяется выражением:

$$E_{ij} = \frac{P_i^{pr}}{L_i^{cl}} \sum_{g=1}^k \left( S_g + \frac{P_g}{z_i^{cl}} \right) + \frac{P_j^{pr}}{L_j^{ser}} \sum_{g=k+1}^n \left( S_g + \frac{P_g}{z_j^{ser}} \right) + (P_i^{tr} + P_j^{tr}) t_{ij}^k(d(t)), \quad (14)$$

- где  $P_i^{pr}, P_j^{pr}$  – потребляемая мощность процессором ВМ  $a_i$  и  $b_j$  соответственно;
- $P_i^{tr}, P_j^{tr}$  – потребляемая мощность аппаратурой передачи данных на ВМ  $a_i$  и  $b_j$  соответственно.

Оценка эффективности распределенной обработки задания в вычислительной сети с учетом пропускной способности канала связи во время нахождения в зоне прямой видимости определяется выражением:

$$T_{ij} = \frac{\sum_{g=1}^n (S_g + P_g)}{E_{ij} T_{ij}} \quad (13)$$

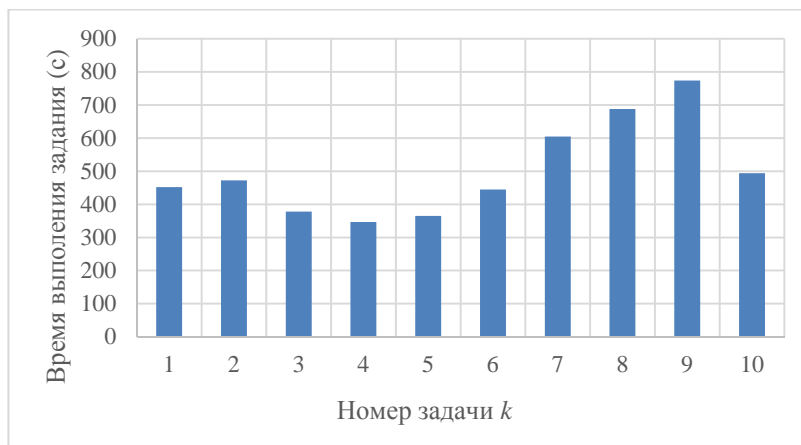
### Пример расчета оперативности и оценки функционирования мобильной вычислительной сети микроспутников

Рассмотрим пример распределенной вычислительной системы на базе ВМ двух спутников («КА-клиент» и «КА-сервер») [6,7], Задание состоит из 10 задач ( $n=10$ ), которые выполняются последовательно друг за другом. Исходными данными, описываемыми выше, являются:  $m=1, h=1, L_1=140, P_1^{pr}=16, z_1=2, L_2=1000, P_2^{pr}=50, z_2=4, y=1, P_2^{tr}=P_2^{tr}=15, P_{пер}=3$ кВт,  $G=200, w=0,1, S_{эф}=20, \eta_{пр}=0,8, \eta_{пер}=0,94, q=4, \frac{P_c}{P_{ш}} = 60, \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{min} = 10$ .

Пусть расстояние между спутниками в моменты времени  $t_1, \dots, t_{10}$  задано матрицей

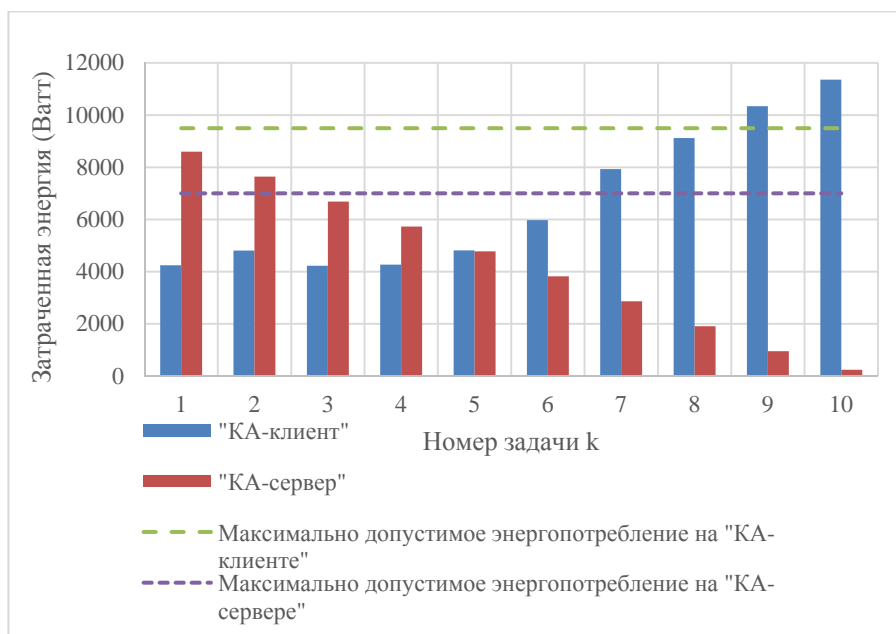
$$d(t) = |3000 \ 2900 \ 2200 \ 1700 \ 1500 \ 1790 \ 2500 \ 2700 \ 2900 \ 3000|.$$

Зависимость времени распределенной обработки задания от номера задачи, на которой происходит прерывание вычислительного процесса на «КА-клиенте» и продолжение его на «КА-сервере», представлена на рисунке 3.



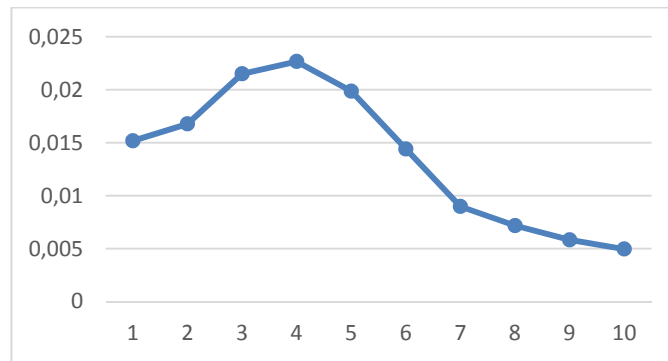
**Рис. 3.** Время выполнения задания с учетом распределенной обработки информации между «КА-клиентом» и «КА-сервером»

Зависимость энергопотребления от момента прерывания вычислительного процесса на «КА-клиенте» и продолжение его на «КА-сервере» с ограничениями на максимально допустимое энергопотребление (4) представлена на рис. 4.



**Рис. 4.** Зависимость энергопотребления «КА-клиента» и «КА-сервера» от момента прерывания распределенной обработки информации

Анализируя полученные результаты моделирования можно сделать вывод, что энергопотребление для «КА-сервера» при  $k = 1$ ,  $k = 2$  и для «КА-клиента» при  $k = 9$  и  $k = 10$  превышает максимально допустимое (4). Наименьшее время распределенной обработки информации для исходных данных достигается при  $k = 4$  и  $k = 5$ .



**Рис. 5.** Эффективность распределения вычислений между «КА-клиента» и «КА-сервера» от момента прерывания распределенной обработки информации

Эффективность распределения вычислений между «КА-клиента» и «КА-сервера» достигает максимума при  $k = 4$ . При данном распределении вычислительной нагрузки минимизируются требования к аппаратно-программным ресурсам «КА-клиента» благодаря переносу части информационно-вычислительной нагрузки на «КА-сервера», а также уменьшается нагрузка на бортовую систему электроснабжения «КА-клиента».

### Заключение

В предложенной модели распределенной обработки информации в динамически изменяющейся вычислительной среде учитывается время выполнения задач, затраты энергоресурса источников питания, пропускная способность канала связи от расстояния между ВМ, требуемый объем памяти.

При организации распределенной обработки информации в вычислительной сети необходимо учитывать следующие факторы:

- ограниченные интервалы времени для передачи информации между «ВМ-клиентов» и «ВМ-серверов» при условии прямой видимости ВМ;
- изменяющаяся пропускная способность каналов связи, обусловленная взаимным положением и высокой скоростью перемещения ВМ;
- дестабилизирующие факторы среды и энергетические ограничения для функционирования ВМ и каналов связи.
- ограниченный запас источников питания и объема памяти ВМ.

Передовые коммуникационные технологии способны обеспечить высокоскоростной обмен информацией по каналам связи в динамически изменяющейся вычислительной среде, а современные технологии программирования и построения распределенных вычислительных сервисов позволяют организовать управляемую, масштабируемую высокопроизводительную систему.

Применение предложенного подхода позволяет организовать вычислительный процесс с предоставлением вычислительных ресурсов сервера «по запросу» клиента.

### Литература

1. Ширококов В.В. Модель распределенной обработки информации в условиях воздействия дестабилизирующих факторов на информационно-телекоммуникационную систему / В.В. Ширококов, А.Г. Басыров, А.С. Швецов, А.О. Шушаков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-20968> Дата обращения: 30.07.2015.

2. Басыров А.Г. Применение технологии распределенных вычислений для обработки информации в орбитальной группировке микроспутников / А.Г. Басыров, В.В. Ширококов // Тезисы докладов Второй международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания



космических систем дистанционного зондирования Земли». М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. С. 62-65.

3. Широбоков В.В. Подход к организации межспутникового взаимодействия в распределенной вычислительной структуре орбитальной группировки микроспутников / В.В. Широбоков, А.Ф. Шинкаренко // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2015. Вып. 646. С. 77–82.

4. Невзоров Ю.В. Факторы, влияющие на скорость передачи информации по космической радиолинии : развитие систем СВЧ радиосвязи / Ю.В. Невзоров, О.И. Козак, О.В. Васильев // Электросвязь : Научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. 2012. №8. С. 29-31. ISSN 0013-5771.

5. Пахомов С. Эра многоядерных энергоэффективных процессоров. URL: <http://compress.ru/Article.aspx?id=16962>. Дата обращения: 01.05.2015.

6. Фатеев В.Ф. Инфраструктура малых космических аппаратов – М.: Радиотехника, 2011. 432 с.

7. Modular Space: DARPA's F6 Program – URL: <http://www.defenseindustrydaily.com/Modular-Space-DARPA-Awards-Phase-2-Systems-F6-Contract-06044>. Дата обращения: 22.10.2014.

# APPROACH TO THE ORGANIZATION OF DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING IN DYNAMICALLY CHANGING AREA NETWORK AND ITS EVALUATION EFFECTIVENESS

**Shirobokov Vladislav Vladimirovich,**  
St. Petersburg, Russia, 17126vlad@gmail.com

**Maksimov Vladimir Andreevich,**  
St. Petersburg, Russia

**Annotation.** An approach to the organization of distributed information processing between the computing units in a dynamically changing computer network and evaluating its effectiveness. Shows the formulation of the problem, mathematical model, an embodiment organizations distributed information processing by the example of distributed computing network orbital constellation of microsatellites. The dependence of the energy consumption in carrying out calculations and data transmission and channel capacity on the distance between the dynamic network elements.

**Keywords:** dynamically changing computing network; distributed computing structure; distributed processing; on-board computer system.

## References

1. Shirobokov V.V. Model of distributed information processing conditions will repaytion of destabilizing factors in the information and telecommunication systems / V.V. Shirobokov, A.G. Basyrov, A.S. Shvetsov, A.O. Shushakov // Modern problems of science and education. 2015. No. 2. URL: <http://www.science-education.ru/122-20968> Date of circulation: 07.30.2015.
2. Basyrov A.G. Application of distributed computing technology for information processing in the orbital constellation of microsatellites / A.G. Basyrov, V.V. Shirobokov // Abstracts of the Second International Scientific Conference "Actual problems of development of space systems for remote sensing of the Earth." - Moscow: VNIIEM, 2014. Pp. 62-65.
3. Shirobokov V.V. Mezhsputnikogo approach to interactions in a distributed computing structure of the orbital constellation of microsatellites / V.V. Shirobokov, A.F. Shinkarenko // Proceedings of the Military Space Academy named after AF Mozhaiskogo. SPb.: GCA them. A.F.Mozhayskogo, 2015. Vol. 646. Pp. 77-82.
4. Nevzorov Y.V. Factors affecting the speed of data transmission over radio space: the development of the microwave radio systems / J.V. Nevzorov, O.I. Kozak O.V. Vasiliev // Telecommunications: Scientific and Technical Journal of wired and wireless communication, television, radio. 2012. No. 8. Pp. 29-31. - ISSN 0013-5771.
5. Pakhomov C. era of energy-efficient multi-core processors. URL: <http://compress.ru/Article.aspx?id=16962>. Date of circulation: 01.05.2015.
6. Fateev V.F. The infrastructure of small spacecraft M.: Radio Engineering, 2011. 432 p.
7. Modular Space: DARPA's F6 Program URL: <http://www.defenseindustrydaily.com/Modular-Space-DARPA-Awards-Phase-2-Systems-F6-Contract-06044>. Date of circulation: 10.22.2014.

## Information about authors:

Shirobokov V.V., post-graduate student, Military Space Academy;  
Maksimov V.A., post-graduate student, Military Space Academy.