

УДК 658.310.11

## ЗАКОНОМЕРНОСТЬ И СВОЙСТВА СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОПЕРАТОРАМИ И ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

**Л. И. Гололобов,**

канд. техн. наук, доцент

Военно-морской институт радиозлектроники им. А. С. Попова

Определены мера объема и объект совместной обработки и передачи данных для моделирования деятельности и функционирования технических средств. Раскрыты закономерность и свойства совместной обработки и передачи данных операторами и техникой.

**Ключевые слова** — операторы, технические средства, объект совместной обработки и передачи данных, производительность.

Исследование и разработка автоматизированных систем управления основываются на двух научных подходах. В одном из них моделируется и исследуется деятельность оператора для обеспечения оптимальных условий работы на технике [1] в общем цикле функционирования системы «человек—техника». В другом подходе акцент делается на моделирование и исследование технических средств [2, 3] в целях повышения их производительности с учетом требований обеспечения деятельности. Разработанные в рамках каждой теории модели воспроизводят сложные процессы деятельности и функционирования технических средств в определенном диапазоне условий, требований и локальных критериев. Причем одна группа фактов объясняется одной теорией, а другая — другой. Необходимо также отметить, что подход, основанный на выделении подсистем «человек» и «техника», усиливает стремление проигнорировать факты одной теории в рамках другой и приводит к недостаточной проработке математических моделей подсистем, порождает многочисленные и трудноразрешимые проблемы. В то же время деятельность человека и функционирование техники настолько взаимосвязаны, что их моделирование по отдельности на уровне подсистем «человек» и «техника» не позволяет в полной мере исследовать процесс совместной обработки и передачи данных оператором и техническими средствами и выявить закономерности этого процесса.

Сдерживающим фактором для исследования деятельности и функционирования технических

средств как целостного процесса обработки и передачи данных является проблема нагрузки. В работах [2, 3] подчеркивается, что практически не существует исследования по оценке производительности, для которого не встает вопрос о нагрузке. Нагрузка для вычислительных систем [2] и компьютерных сетей [3] определена как совокупность всей входной информации (программ, данных, команд), поступающей в систему извне за определенный период времени. Из данного определения следует, что нагрузка характеризуется объемом и временем. Д. Менаске и В. Алмейда [3], определяя нагрузку для компьютерных сетей, указывают, что распределенное окружение характеризуется сложными и разнообразными нагрузками. Они считают, что на определенном промежутке времени нагрузка на клиентский компьютер состоит из команд и «щелчков», отправляемых пользователем, и ответов серверов на пользовательские запросы. С точки зрения Web-сервера, нагрузка состоит из всех запросов пользователя, поступающих на его вход. Например, в Web на уровне сервера базы данных нагрузка — это совокупность всех транзакций (т. е. *http*-запросов на поиск и обновление), получаемых от клиентов и обрабатываемых сервером в течение определенного интервала времени. Нагрузку на сеть Д. Менаске и В. Алмейда представляют через такие параметры трафика, как распределение размеров пакетов и промежутков времени между пакетами.

В зависимости от уровня ресурсов, на котором анализируется их производительность, исполь-

зуются различные меры объема. Наиболее распространенными мерами объема, которые использовались ранее или используются ныне, считаются шаг задания, программа, процесс, сообщение, взаимодействие (обмен сообщениями), транзакция, сценарий, команда, пакет в сетях с коммутацией пакетов и т. п. В работе [2] отмечается, что ни одна из этих мер объема данных не обладает независимостью от самой нагрузки и системы. Эти два свойства необходимы, чтобы установить некую меру объема данных в качестве универсальной.

В то же время вполне очевидно, что каждая из перечисленных мер объема (команда, программа, транзакция, *http*-запрос, пакет и т. п.) состоит из символов для оператора и байтов для технических средств, которые обрабатываются человеком и вычислительной системой и передаются в сетях. Учитывая сказанное, для моделирования совместной обработки и передачи данных предлагается на уровне оператора и технических средств за минимальную меру объема, нагрузку, единицу информации и объект совместной обработки и передачи данных взять символ, а время обработки и передачи символов — за характеристику функционирования человека и техники. На уровне оператора и техники обрабатываются символы, представленные графическим пространством имен, которое инкапсулирует основные графические функции. В терминах Microsoft эти функции известны как *GDI+* (*Graphical Device Interface*). Класс *Graphics* является фундаментальным для *GDI+*, так как определяет графическую поверхность, на которой отображаются обрабатываемые данные, и действует как посредник между человеком и техникой, объединяя трудовой процесс и процесс функционирования техники в одно целое. Обработке оператором каждого клавиатурного и дисплейного символа соответствует машинная процедура из сотен и тысяч и большего числа символов (байтов), составляющих программы и данные. Например, Web-страница, запрошенная оператором при обращении к Web-серверу, состоит из программного кода и данных.

Опишем в формализованном виде целостный процесс совместной обработки и передачи данных в системе «человек—техника» (рис. 1). К тех-



■ Рис. 1. Совместная обработка и передача данных операторами и техническими средствами

ническим средствам относятся отдельные ЭВМ, одна или несколько компьютерных сетей. В системе *i*-й оператор взаимодействует с *j*-м оператором,  $i, j = 1, 2, \dots, l$ . Суммарные временные затраты *i*-го оператора и используемых им технических средств равны

$$T_i = (T_{i1} + T_{i2} + \dots + T_{ij} + \dots + T_{il}) + F_i$$

$$\text{или } T_i = \sum_{j=1}^l T_{ij} + F_i, \quad (1)$$

где  $T_{ij}$  — временные затраты технических средств на взаимодействие *i*-го с *j*-м оператором;  $F_i$  — временные затраты *i*-го оператора;  $l$  — число включенных рабочих станций (число операторов может быть меньше или равно  $l$ ). Если  $i = j$  и  $T_{ij} = 0$ , то *i*-й оператор не работает, но *i*-я рабочая станция включена.

Если  $i = j$  и  $T_{ij} \neq 0$ , имеет место индивидуальная работа *i*-го оператора. Для случая  $i \neq j$  и  $T_{ij} \neq 0$  *i*-й оператор взаимодействует с *j*-м оператором (групповая работа). Временные затраты технических средств на взаимодействие *i*-го оператора с *j*-м оператором описываются квадратной матрицей временных затрат  $|T_{ij}|$ . Введем в (1) коэффициент использования технических средств  $a_{ij}$  в процессе взаимодействия *i*-го с *j*-м оператором,  $a_{ij} = T_{ij}/T_j$ . После подстановки в (1)  $T_{ij} = a_{ij}T_j$  система уравнений (1) принимает вид

$$T_i = \sum_{j=1}^l a_{ij}T_j + F. \quad (2)$$

Система линейных уравнений (2) в матричном виде

$$\mathbf{T} = \mathbf{AT} + \mathbf{F} \quad (3)$$

или

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_i \\ \vdots \\ T_l \end{pmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1l} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2l} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{il} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{l1} & a_{l2} & \dots & a_{lj} & \dots & a_{ll} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_l \end{pmatrix}.$$

Если в матричном уравнении (3) неотрицательная квадратная матрица  $\mathbf{A}$  невырожденная, то для любого положительного вектора  $\mathbf{F}$  имеет место отношение

$$\mathbf{T} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{F}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{A}$  — квадратная матрица коэффициентов использования (загруженности) ресурсов технических средств;  $\mathbf{I}$  — единичная матрица размерностью  $l \times l$ ;

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix};$$

$(I - A)$  — матрица коэффициентов использования (загруженности) трудовых ресурсов.

Производительность систем обработки и передачи данных характеризуется продуктивностью (объемом информации, обрабатываемой в единицу времени), реактивностью (временем между предъявлением системе входных данных и появлением соответствующей выходной информации) и степенью использования ресурсов. В моделях (3) и (4) установлена связь между реактивностью системы и использованием ресурсов. В (3) и (4) присутствуют такие показатели производительности, как время отклика  $T$  системы, время отклика  $F$  операторов и коэффициенты использования трудовых  $(I - A)$  и технических  $(A)$  ресурсов. Отношение (4) описывает закономерность совместной обработки и передачи данных человеком и техническими средствами в виде зависимости между временными затратами системы  $(T)$ , человека  $(F)$  и используемыми трудовыми  $(I - A)$  и техническими  $(A)$  ресурсами. На основании (4) раскроем закономерность в процессе совместной обработки и передачи данных и определим место (3) в этом процессе. С этой целью выполним некоторые преобразования для (4). Так как для матриц  $(I - A)$  и  $(I - A)^{-1}$  существует равенство  $(I - A)(I - A)^{-1} = I$ , то  $F = (I - A)T$ . Для  $A = 0$  имеем  $T = F$ . Это значит, что все действия по обработке и передаче данных выполняет человек. Технические средства не используются. Если  $F = 0$ , то имеет место  $(I - A)T = 0$ . Так как временные затраты  $F$  операторов равны нулю, то очевидно, загруженность трудовых ресурсов  $(I - A) = 0$ . Это значит  $A = I$  и  $T = T$ , что соответствует автоматическому режиму обработки и передачи данных без участия человека. Наконец, если  $F \neq 0$  и  $A \neq 0$ , то  $T = AT + F$ , т. е. выполняется автоматизированная обработка и передача данных. Таким образом, решение (4) уравнения (3) представляет все режимы обработки и передачи данных (табл. 1) операторами и техническими средствами. Следовательно, (3) охватывает ручной, автоматизированный и автоматический режимы обработки и передачи данных. Выявленная закономерность позволяет исследовать деятельность человека и функционирование техники в процессе обработки и передачи данных не на уровне подсистем «человек» и «техника», а системы в целом.

Чтобы раскрыть технологическое единство людей, информации и техники, в (3) необходимо

■ Таблица 1. Режимы совместной обработки и передачи данных

Работа оператора без технических средств автоматизации деятельности	Автоматизированный режим обработки и передачи данных	Автоматический режим обработки и передачи данных
$T_i = \sum a_{ij}T_j + F_i,$ $T_{ij} = 0,$ $a_{ij} = T_{ij} / T_j,$ $a_{ij} = 0, T_i = F_i$	$T_i = \sum_j^l a_{ij}T_j + F_j,$ $F_i \neq 0, T_{ij} \neq 0,$ $a_{ij} \neq 0$	$T_i = \sum_j^l a_{ij}T_j + F_j,$ $F_i = 0, a_{ij} \neq 0,$ $T_i = \sum_{j=1}^l T_j$
$T = AT + F, A = 0,$ $T = F$	$T = AT + F, F \neq 0,$ $A \neq 0$	$T = A + F, F = 0,$ $A = I, T = T$

в процессе моделирования использовать определенные выше меру объема данных и объект совместной обработки и передачи данных и перейти на уровне подсистем «человек» и «техника» к такому показателю производительности трудовых и технических ресурсов, как продуктивность.

Рассмотрим подсистему «человек» в общем цикле функционирования системы «человек—техника». В работе  $i$ -го оператора можно выделить компьютерную и информационную деятельность. Работа на персональной ЭВМ с использованием клавиатуры, экрана и манипулятора мышью относится к компьютерной деятельности операторов. Информационная составляющая характеризует содержательную деятельность. Информационная деятельность оператора связана с ведением базы данных, формированием документов на основании информации из базы данных, получением и отправкой документов.

Покажем, что компьютерная и информационная деятельность — две стороны одной и той же деятельности. Представим деятельность  $i$ -го оператора на уровне действий над символами с помощью клавиатуры, экрана и манипулятора мышью. Тогда загруженность оператора можно выразить через объем данных в виде количества обрабатываемых символов, действия над каждым символом и время выполнения каждого действия. Пусть объем данных в процессе работы  $i$ -го оператора с клавиатурой, экраном дисплея и мышью равен

$$N_i = ns_i + np_i + nd_i + nw_i + nr_i + m1_i + m2_i + m3_i + m4_i + m5_i,$$

где количество символов, обрабатываемых оператором с использованием клавиатуры и экрана дисплея, равно:  $ns_i$  — при входе в систему,  $np_i$  — во время работы с данными,  $nd_i$  — в ходе форми-

рования документа,  $nw_i$  — на этапе отправки документа,  $nr_i$  — при получении документа; количество символов, обрабатываемых на экране дисплея манипулятором мышью, равно:  $m1_i$  — во время входа в систему,  $m2_i$  — во время работы с данными,  $m3_i$  — в ходе формирования документа;  $m4_i$  — в процессе передачи документа,  $m5_i$  — на этапе приема документа.

Очевидно,  $i$ -й оператор для обработки  $s$ -го символа использует клавиатуру и экран, экран и манипулятор мышью. Представим временные затраты на работу с клавиатурой через  $tnsklv_{is}$ ,  $tnpklv_{is}$ ,  $tndklv_{is}$ ,  $tnwklv_{is}$ ,  $tnrklv_{is}$ , с экраном — через  $tnsscr_{is}$ ,  $tnpscr_{is}$ ,  $tndscr_{is}$ ,  $tnwscr_{is}$ ,  $tnrscr_{is}$  и с манипулятором мышью — через  $tm1_{is}$ ,  $tm2_{is}$ ,  $tm3_{is}$ ,  $tm4_{is}$ ,  $tm5_{is}$ . Тогда временные затраты  $F_i$   $i$ -го оператора на компьютерную деятельность выражаются через время, затраченное на обработку символов клавиатурой ( $K_i$ ), экраном ( $D_i$ ), манипулятором мышью ( $M_i$ ), и косвенные временные затраты ( $E_i$ ), не связанные с обработкой и передачей данных. Величина  $E_i$  рассматривается как среднее время согласования (координации) действий  $i$ -го оператора  $k$ -го уровня иерархии со стороны операторов вышестоящего уровня. Например, уточнение задания, определение порядка выдачи данных, уточнение полученной информации, актуализация данных операторами вышестоящего уровня иерархии и т. д. В ситуациях, жестко регламентированных временем,  $E_i \rightarrow 0$ . Однако если косвенные временные затраты оказывают существенное влияние на общие временные затраты  $i$ -го оператора ( $F_i$ ), то возникает объективная необходимость их учета ( $E_i \neq 0$ ) по определенным методикам. Будем исходить из предположения, что в критических по времени ситуациях каждый оператор в иерархии взаимодействия четко действует в соответствии с инструкцией, временные затраты на согласование несущественны и  $E_i \rightarrow 0$ . Поэтому считаем, что  $E_i = 0$ . Тогда временные затраты  $i$ -го оператора на компьютерную деятельность равны:

$$F_i = K_i + D_i + M_i + E_i,$$

$$\begin{aligned} \text{где } K_i &= tnsklv_i + tnpklv_i + tndklv_i + tnwklv_i + \\ &+ tnrklv_i, \quad tnsklv_i = \sum_{s=1}^{ns_i} tnsklv_{is}, \quad tnpklv_i = \sum_{s=1}^{np_i} tnpklv_{is}, \\ tndklv_i &= \sum_{s=1}^{nd_i} tndklv_{is}, \quad tnwklv_i = \sum_{s=1}^{nw_i} tnwklv_{is}, \\ tnrklv_i &= \sum_{s=1}^{nr_i} tnrklv_{is}; \\ D_i &= tnsscr_i + tnpscr_i + tndscr_i + tnwscr_i + tnrscr_i, \\ tnsscr_i &= \sum_{s=1}^{ns_i} tnsscr_{is}, \quad tnpscr_i = \sum_{s=1}^{np_i} tnpscr_{is}, \end{aligned}$$

$$tndscr_i = \sum_{s=1}^{nd_i} tndscr_{is}, \quad tnwscr_i = \sum_{s=1}^{nw_i} tnwscr_{is},$$

$$tnrscr_i = \sum_{s=1}^{nr_i} tnrscr_{is};$$

$$M_i = tm1_i + tm2_i + tm3_i + tm4_i + tm5_i;$$

$$tm1_i = \sum_{s=1}^{m1_i} tm1_{is}, \quad tm2_i = \sum_{s=1}^{m2_i} tm2_{is}, \quad tm3_i = \sum_{s=1}^{m3_i} tm3_{is},$$

$$tm4_i = \sum_{s=1}^{m4_i} tm4_{is}, \quad tm5_i = \sum_{s=1}^{m5_i} tm5_{is}; \quad E_i = 0.$$

Временные затраты  $V_i$   $i$ -го оператора на информационную деятельность состоят из времени, затраченного на вход в систему ( $B_i$ ), работу с данными ( $U_i$ ), формирование документа ( $G_i$ ), передачу документа ( $W_i$ ), получение документа ( $R_i$ ), и косвенных временных затрат ( $H_i$ ). Здесь косвенные временные затраты также приняты равными нулю ( $H_i = 0$ ). Тогда суммарные временные затраты  $V_i$   $i$ -го оператора на информационную деятельность равны:

$$V_i = B_i + U_i + G_i + W_i + R_i + H_i,$$

$$\begin{aligned} \text{где } B_i &= tnsklv_i + tnsscr_i + tm1_i, \quad tnsklv_i = \sum_{s=1}^{ns_i} tnsklv_{is}, \\ tnsscr_i &= \sum_{s=1}^{ns_i} tnsscr_{is}, \quad tm1_i = \sum_{s=1}^{m1_i} tm1_{is}; \\ U_i &= tnpklv_i + tnpscr_i + tm2_i, \quad tnpklv_i = \sum_{s=1}^{np_i} tnpklv_{is}, \\ tnpscr_i &= \sum_{s=1}^{np_i} tnpscr_{is}, \quad tm2_i = \sum_{s=1}^{m2_i} tm2_{is}; \\ G_i &= tndklv_i + tndscr_i + tm3_i, \quad tndklv_i = \sum_{s=1}^{nd_i} tndklv_{is}, \\ tndscr_i &= \sum_{s=1}^{nd_i} tndscr_{is}, \quad tm3_i = \sum_{s=1}^{m3_i} tm3_{is}; \\ W_i &= tnwklv_i + tnwscr_i + tm4_i, \quad tnwklv_i = \sum_{s=1}^{nw_i} tnwklv_{is}, \\ tnwscr_i &= \sum_{s=1}^{nw_i} tnwscr_{is}, \quad tm4_i = \sum_{s=1}^{m4_i} tm4_{is}; \\ R_i &= tnrklv_i + tnrscr_i + tm5_i, \quad tnrklv_i = \sum_{s=1}^{nr_i} tnrklv_{is}, \\ tnrscr_i &= \sum_{s=1}^{nr_i} tnrscr_{is}, \quad tm5_i = \sum_{s=1}^{m5_i} tm5_{is}; \quad H_i = 0. \end{aligned}$$

Из полученных математических зависимостей видно, что составляющие  $B_i$ ,  $U_i$ ,  $G_i$ ,  $W_i$ ,  $R_i$  и  $H_i$  временных затрат  $V_i$   $i$ -го оператора на информационную деятельность формируются из составляющих  $K_i$ ,  $D_i$ ,  $M_i$  и  $E_i$  временных затрат  $F_i$  на компьютерную деятельность, т. е. компоненты временных затрат  $F_i$  на компьютерную деятельность перераспределяются между компонентами временных затрат  $V_i$  на информационную деятельность. Во взаимодействии  $i$ -го с  $j$ -м оператором временные затраты технических средств на компьютерную деятельность описываются ма-

трицей  $|T_{ij}|$ , а на информационную деятельность — транспонированной матрицей.

Суммарные временные затраты  $T_i$   $i$ -го оператора  $F_i$  и используемых им технических средств  $X_i$  на компьютерную деятельность равны  $T_i = F_i + X_i$

$$\left( X_i = \sum_{j=1}^l T_{ij} \right)$$

и суммарные временные затраты  $T_j$   $j$ -го оператора  $V_j$  и используемых технических средств  $Y_j$  на информационную деятельность равны  $T_j = V_j + Y_j$ ,  $\left( Y_j = \sum_{i=1}^l T_{ji} \right)$ , где  $T_i = T_j$  (табл. 2).

Суммарные временные затраты всех операторов и техники на компьютерную деятельность и на информационную деятельность соответственно равны  $\mathbf{T}$ , т. е.  $\mathbf{T} = \mathbf{K} + \mathbf{D} + \mathbf{M} + \mathbf{E} + \mathbf{X}$  и  $\mathbf{T} = \mathbf{B} + \mathbf{U} + \mathbf{G} + \mathbf{W} + \mathbf{R}$ . Таким образом, одно из свойств совместной обработки и передачи данных состоит в том, что суммарные временные затраты операторов и используемой ими техники на компьютерную деятельность равны суммарным временным затратам операторов и техники на информационную деятельность:

$$T = \sum_{i=1}^l F_i + \sum_{i=1}^l X_i = \sum_{j=1}^l V_j + \sum_{j=1}^l Y_j.$$

Следовательно, для исследования деятельности операторов и функционирования технических средств можно использовать компьютерную или информационную составляющую.

Для вычисления временных затрат  $tnsklv_{is}$ ,  $tnpklv_{is}$ ,  $tndklv_{is}$ ,  $tnwklv_{is}$ ,  $tnrklv_{is}$ ,  $tnsscr_{is}$ ,  $tnpscr_{is}$ ,

■ Таблица 2. Временные затраты совместной обработки и передачи данных

	1	2	...	$j$	...	$l$	$X$	$K$	$D$	$M$	$E$	$F$	$T$
1	$T_{11}$	$T_{12}$	...	$T_{1j}$	...	$T_{1l}$	$X_1$	$K_1$	$D_1$	$M_1$	$E_1$	$F_1$	$T_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	...	$T_{2j}$	...	$T_{2l}$	$X_2$	$K_2$	$D_2$	$M_2$	$E_2$	$F_2$	$T_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i$	$T_{i1}$	$T_{i2}$	...	$T_{ij}$	...	$T_{il}$	$X_i$	$K_i$	$D_i$	$M_i$	$E_i$	$F_i$	$T_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$l$	$T_{l1}$	$T_{l2}$	...	$T_{lj}$	...	$T_{ll}$	$X_l$	$K_l$	$D_l$	$M_l$	$E_l$	$F_l$	$T_l$
$Y$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_j$	...	$Y_l$	$Z$	$K$	$D$	$M$	$E$	$F$	$T$
$B$	$B_1$	$B_2$	...	$B_j$	...	$B_l$	$B$	0	0	0	0	0	0
$U$	$U_1$	$U_2$	...	$U_j$	...	$U_l$	$U$	0	0	0	0	0	0
$G$	$G_1$	$G_2$	...	$G_j$	...	$G_l$	$G$	0	0	0	0	0	0
$W$	$W_1$	$W_2$	...	$W_j$	...	$W_l$	$W$	0	0	0	0	0	0
$R$	$R_1$	$R_2$	...	$R_j$	...	$R_l$	$R$	0	0	0	0	0	0
$H$	$H_1$	$H_2$	...	$H_j$	...	$H_l$	$H$	0	0	0	0	0	0
$V$	$V_1$	$V_2$	...	$V_j$	...	$V_l$	$V$	0	0	0	0	0	0
$T$	$T_1$	$T_2$	...	$T_j$	...	$T_l$	$T$	0	0	0	0	0	0

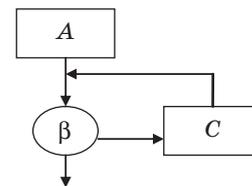
$tnscr_{is}$ ,  $tnwscr_{is}$ ,  $tnrscr_{is}$ ,  $tm1_{is}$ ,  $tm2_{is}$ ,  $tm3_{is}$ ,  $tm4_{is}$ ,  $tm5_{is}$  применяются математические методы моделирования деятельности, используемые в исследованиях подсистемы «человек». К ним относятся алгоритмическая алгебра, аппарат функциональных сетей, вероятностно-временные зависимости описания действий оператора в рабочих, контрольных и диагностических операциях, нелинейные регрессионные зависимости и другие средства [1]. Оператор, работая с символами, обрабатывает каждый из них: вводит, контролирует и при появлении ошибки устраняет ее. Алгоритм  $\mathcal{R}$  действий оператора над символом показан на рис. 2. В алгоритме  $\mathcal{R}$  технологическая операция  $A_{op}^{is}$  обработки символа представлена в виде блок-схемы работа — визуальный контроль — доработка. Средствами алгоритмической алгебры технологическая операция  $A_{op}^{is}$  описывается функциональной сетью

$$A_{op}^{is} = A \beta (\Psi \cup C) \Pi, \quad (5)$$

где  $A$  — рабочая функциональная единица обработки символа;  $\beta$  — контроль результата выполнения рабочего оператора  $A$  ( $\beta = 1$ , если оператор выполнен без ошибки, и  $\beta = 0$ , если оператор выполнен с ошибкой);  $C$  — функциональная единица доработки, выполняемая при устранении ошибки, обнаруженной при контроле;  $\Psi$  — функциональная единица, интерпретируемая как фиксация на экране дисплея результата выполнения рабочей функциональной единицы  $A$ ;  $\Pi$  — функциональная единица, интерпретирующая передачу символа. Входящие в соотношение (5) элементарные действия моделируются функциональными сетями

$$A = (A_s)^{N_i}; C = (A_s)^{\theta N_i}; \Pi = A_s, \quad (6)$$

где  $A_s$  — обобщенная операция взаимодействия оператора с клавиатурой, экраном и мышью при обработке  $s$ -го символа;  $N_i$  — число обрабатываемых символов;  $\theta$  — безразмерный коэффициент, характеризующий долю перенабираемых символов при обработке данных объема  $N_i$ . При переходе от алгоритмических формул (5) и (6) к их вероятностно-временным эквивалентам имеют место следующие зависимости [4]:



■ Рис. 2. Алгоритм  $\mathcal{R}$  выполнения технологической операции  $A_{op}^{is}$

$$\begin{aligned}
 P_{A_{op}}^1 &= [P_A^1 K_\beta^{11} + (P_A^1 K_\beta^{10} + P_A^0 K_\beta^{00}) P_C^1] P_\Pi^1; \\
 T_{A_{op}} &= T_A + T_\beta + (P_A^1 K_\beta^{10} + P_A^0 K_\beta^{00}) T_C + T_\Pi; \quad (7) \\
 P_A^1 &= (P_s)^{N_i}; \quad P_A^0 = 1 - P_A^1; \quad T_A = N_i T_s; \quad T_\beta = N_i T_s; \\
 P_C^1 &= (P_s^1)^{\theta N_i}; \quad T_C = \theta N_i T_s; \quad P_\Pi^1 = P_s; \quad T_\Pi = T_s,
 \end{aligned}$$

где  $P_A^1$  — вероятность и  $T_A$  — среднее время выполнения без ошибок технологической операции  $A_s$ ;  $P_s$  — вероятность и  $T_s$  — среднее время безошибочного выполнения операции над  $s$ -м символом,  $s = 1, 2, \dots, N_i$ ;  $K_\beta^{11}(K_\beta^{10})$  — вероятность отсутствия (наличия) ошибок при визуальном контроле на экране  $N_i$  обрабатываемых символов, причем  $K_\beta^{11} + K_\beta^{10} = 1$ ;  $K_\beta^{00}(K_\beta^{01})$  — вероятность наличия (отсутствия) ошибок при визуальном контроле на экране  $N_i$  обрабатываемых символов, причем  $K_\beta^{00} + K_\beta^{01} = 1$ . Для учета факторов, влияющих на безошибочность и быстродействие оператора при выполнении алгоритма  $\mathcal{R}$  над символом, используем регрессионные модели. Наиболее удобны нелинейные регрессионные модели, которые в отличие от традиционных полиномиальных моделей допускают содержательную интерпретацию параметров. Для вычисления  $P_s$  и  $T_s$  из (7) используются нелинейные регрессионные модели в виде пары взаимосвязанных зависимостей

$$\begin{aligned}
 P_s &= \{1 - [e^{-q_1 x_1} + (q_2 - e^{-q_1 x_1}) e^{-q_3(x_2 - x_3)}]\} e^{-q_4(x_4 - x_5)}; \\
 T_s &= (a_0 + a_2 e^{-a_1 x_1}) [1 + e^{-q_3(x_2 - x_3)} (a_3 - 1)] + \\
 &\quad + a_4 e^{-a_5 x_4} + (e^{-a_6 x_4} - 1) - a_7,
 \end{aligned}$$

где  $P_s$  — вероятность и  $T_s$  — математическое ожидание времени безошибочного выполнения оператором технологической операции  $A_s$ ;  $x_1$  — квалификация оператора;  $(x_2 - x_3)$  — дефицит времени, оцениваемый разностью предельно допустимого ( $x_2$ ) и фактически затрачиваемого ( $x_3$ ) времени на выполнение элементарной операции;  $x_4$  — продолжительность работы оператора;  $a_0$  — математическое ожидание времени выполнения технологической операции  $A_s$  неутомленным оператором высшей квалификации, т. е. высший достижимый уровень быстродействия оператора;  $a_2, a_4$  — максимальные добавки к затратам времени на выполнение операции при необученности и вработываемости соответственно;  $a_3$  — коэффициент изменения времени выполнения операции в условиях наибольшей операционной напряженности;  $a_1, a_5, a_6$  — параметры, характеризующие скорость изменения времени выполнения операции из-за необученности, вработываемости и утомляемости соответственно;  $a_7$  — параметр, имеющий размерность времени, обеспечивающий выход на стационарный режим, характеризующий быстродействие оператора от про-

должительности его безошибочной работы;  $q_1, q_3, q_4$  — параметры, характеризующие скорость изменения безошибочности оператора в зависимости от роста квалификации  $x_1$ , отклонения времени ( $x_2 - x_3$ ) и продолжительности работы  $x_4$ ;  $q_2$  — вероятность совершения ошибки при наибольшей операционной напряженности;  $q_5$  — параметр, имеющий ту же размерность, что и  $x_4$ , и по физическому смыслу соответствующий моменту наибольшей безошибочности оператора.

Рассмотрим подсистему «техника» в целомном процессе совместной обработки и передачи данных. Для вычисления присутствующих в модели (3) временных затрат  $T_{ij}$ , технических средств на взаимодействие  $i$ -го с  $j$ -м оператором используются математические методы исследования подсистемы «техника». Имеются в виду методы теории очередей (системы массового обслуживания), сетей очередей (сети массового обслуживания), имитационного моделирования, аналитические зависимости и др. Для вычисления временных затрат  $T_{ij}$  воспользуемся аналитическими зависимостями из работы [3]. Использование аналитических зависимостей наглядно раскрывает физический смысл обработки и передачи данных в компьютерных сетях. Чтобы показать механизм взаимодействия протокольных объектов в разнородных сетях, рассмотрим случай использования компьютерных сетей с тремя сетевыми технологиями: *Ethernet*, *FDDI* и *Token Ring*. Время  $T_{ij}$  состоит из времени  $t_{cpu}^{ij}$  использования центрального процессора, времени  $t_d^{ij}$  работы диска сервера, времени  $t_{net}^{ij}$  передачи данных по сетям и времени  $t_r^{ij}$ , затраченного на определение маршрута движения дейтаграмм. Сообщение в сети от клиента к серверу обычно проходит стек протоколов и передается через одну или большее количество сетей. Протокольные объекты каждого уровня общаются между собой за счет обмена протокольными единицами обмена (*Protocol Data Unit* — *PDU*), состоящими из заголовка и области данных. В *PDU* обычно отводится максимально возможный размер под область данных, который в байтах носит название максимального передаваемого блока (*Maximum Transmission Unit* — *MTU*). Маршрутизаторы фрагментируют дейтаграммы при переходе к сети с более низким значением *MTU*. Фрагменты собираются заново на уровне *Internet*-протокола *IP* на хвосте места назначения. Каждый уровень протокола к данным добавляет свой собственный заголовок, а иногда и хвост, т. е. заключительную часть. Время процессора равно  $t_{cpu}^{ij} = \alpha_{cpu_{kl}} / U_{cpu_{kl}}$ , где  $\alpha_{cpu_{kl}}$  — коэффициент использования и  $U_{cpu_{kl}}$  — производительность процессора по классу запросов,  $kl = 1, 2, 3$  ( $rf$  — размер файла:  $1 - rf \leq 20$  КБ,  $2 - 20$  КБ  $< rf \leq 1$  МБ,

3 —  $rf > 1$  МБ). Время обслуживания для диска

составляет  $t_d^{ij} = t_{pd} + t_{zd} + \frac{N_{bd}^i R_{bd}}{V_d}$ , где  $t_{pd}$  — сред-

нее время поиска на диске;  $t_{zd}$  — средняя задерж-  
ка;  $N_{bd}^i$  — количество считываемых с диска бло-  
ков;  $R_{bd}$  — размер блока (в байтах);  $V_d$  — скорость  
считывания с диска. Временные затраты сети  
 $t_{net}^{ij}$  состоят из времени  $t_c^{ij}$ , затраченного сетью  
на запрос клиента к серверу, и времени на от-  
вет сервера  $t_s^{ij}$ :  $t_{net}^{ij} = t_c^{ij} + t_s^{ij}$ . Запрос от  $i$ -го клиен-  
та к серверу размещается в области данных TCP-  
сегмента, который поступает в область данных  
IP-дейтаграммы. Дейтаграмма инкапсулирует-  
ся кадрами Ethernet, FDDI и Token Ring по  
мере ее продвижения по сетям. Таким обра-  
зом, по мере перехода от одной сети к другой  
 $N_{client_i}$ -байтовый клиентский запрос преобразу-  
ется в  $N_{cip}$ -байтовый кадр  $p$ -й сети ( $p = 1, 2, 3$ ):  
 $N_{cip} = N_{client_i} + R_{TCP} + R_{IP} + R_{kadr_p}$ , где  $R_{TCP}$ ,  $R_{IP}$   
и  $R_{kadr_p}$  — размеры заголовков (служебной ин-  
формации) протоколов TCP, IP и  $p$ -й сети. Время  
на передачу запроса от  $i$ -го клиента по  $p$ -й сети

$$t_{cip} = \frac{N_{cip} \cdot 8}{10^6 \cdot V_p}, \text{ где } V_p \text{ — пропускная способность } p\text{-й}$$

сети, Мбит/с. Тогда временные затраты на за-

$$\text{прос } t_c^{ij} = \sum_{p=1}^P t_{cip}, \text{ } p = 1, 2, \dots, P, P \text{ — общее количе-}$$

ство сетей, через которые проходит запрос. Опре-  
делим временные затраты  $t_s^{ij}$  на ответ сервера  
 $i$ -му клиенту. Чтобы после появления TCP-  
соединения между сервером и клиентом исклю-  
чить фрагментирование данных, устанавливает-  
ся максимальный размер сегмента MSS, мень-  
шим или равным MTU для всех сетей, т. е.  $MSS \leq$   
 $\leq \min_{p=1}^P MTU - R_{TCP} - R_{IP}$ , где MTU, как отмеча-  
лось, максимальный размер области данных в сете-  
вых протоколах. Установив для  $N_{server_i}$  — байтово-  
го ответа сегмент из  $N_{segment_i}$  байт, серверу по-  
требуется  $K_{TCP_i}$  сегментов, чтобы по сетям пере-  
дать  $i$ -му клиенту  $N_{server_i}$ -байтовый ответ. Тогда  
время на передачу данных с учетом служебной  
информации равно

$$t_{sip} = \frac{[K_{TCP_i}(N_{segment_i} + R_{sl_p}) + (N_{dop_i} + R_{sl_p})] \cdot 8}{10^6 \cdot V_p},$$

где  $R_{sl_p} = R_{TCP} + R_{IP} + R_{radr_p}$ ,  $N_{dop} = N_{server_i} -$   
 $- K_{TCP_i} N_{segment_i}$ . Время ответа  $t_s^{ij} = \sum_{p=1}^P t_{sip}$ . Общее

время обработки сообщения на  $M_r$  маршрутиза-

торах равно  $t_r^{ij} = \sum_{m=1}^{M_r} t_{ir_m}$ , где  $t_{ir_m} = K_{id} Z_{r_m}$ , здесь

$K_{id}$  — количество дейтаграмм,  $Z_{r_m}$  — задержка  
маршрутизатора, мкс/пакет, указывается произ-  
водителем. Итак, для технических средств опре-  
делили  $T_{ij} = t_{cpu}^{ij} + t_d^{ij} + t_{net}^{ij} + t_r^{ij}$ .

Окончательно имеем  $T = \sum_{i=1}^l F_i + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^l T_{ij}$  или  
 $T = \sum_{j=1}^l V_j + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l T_{ji}$ . Таким образом, через мо-

дель совместной обработки и передачи данных  
достигнута интеграция методов научных иссле-  
дований подсистем «человек» и «техника». Это  
*свойство* показывает, что модели деятельности  
и функционирования техники «вложены» в мо-  
дель совместной обработки и передачи данных.  
Символ (байт) как мера объема и объект совмест-  
ной обработки присутствует в формализованном  
описании деятельности и функционирования  
техники.

Учитывая, что в рамках одной работы довольно  
сложно раскрыть все аспекты предложенного под-  
хода, отметим главное. Введением на уровне опе-  
ратора и технических средств меры объема и объ-  
екта совместной обработки и передачи данных опе-  
раторами и техническими средствами сделан  
важный шаг к моделированию целостного про-  
цесса, раскрытию его закономерности и свойств.

## Литература

1. **Информационно-управляющие** человеко-машин-  
ные системы: Исследование, проектирование, ис-  
пытания: Справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Аше-  
ров, И. Л. Бердников и др.; Под общ. ред. А. И. Гу-  
бинского и В. Г. Евграфова. — М.: Машинострое-  
ние, 1993. — 528 с.
2. **Феррари Д.** Оценка производительности вычисли-  
тельных систем / Пер. с англ. А. И. Горлина,  
Ю. Б. Котова и Л. В. Ухова; Под ред. В. В. Марты-  
нюка. — М.: Мир, 1981. — 576 с.
3. **Менаске Д., Алмейда В.** Производительность Web-  
служб. Анализ, оценка и планирование: Пер.  
с англ.— СПб.: ДиаСофтЮП, 2003. — 480 с.
4. **Ротштейн А. П., Кузнецов П. Д.** Проектирование  
бездефектных человеко-машинных технологий. —  
Киев: Тэхника, 1992. — 180 с.