МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЭВМ и систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ по курсу «Вычислительные комплексы, системы и сети» для студентов специальности Т.10.03.00

ЧАСТЬ 1

Брест 2001

УДК 681.3

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно-практических работ по дисциплине "Вычислительные комплексы, системы и сети" и содержат описания двух лабораторных работ по изучению базовых характеристик и режимов функционирования вычислительных систем. Являются первой частью лабораторно-практического курса по изучению основных понятий теории вычислительных систем и включают краткие теоретические сведения по свойствам моделирующих потоков заявок, дисциплин обслуживания заявок, методы расчета основных параметров вычислительных систем. Задания, требования к выполнению работ и содержанию отчетов разработаны с учетом имеющейся на кафедре ЭВМ и систем БГТУ аппаратно-технической базы.

Методические указания предназначены для использования студентами специальности Т.10.03.00 «Вычислительные машины, системы и сети».

Ил. 3., табл. 5., список лит. – 3 назв.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК В ВС

1.1. Общие положения. Потоки заявок

Совокупность событий, распределенных во времени, называется *потоком заявок*. Различают *входящие* и *выходящие потоки заявок*, которые поступают в систему и соответственно покидают ее. В общем случае поток заявок рассматривается как случайный процесс, задаваемый функцией распределения промежутков времени между моментами поступления двух соседних заявок. Важнейшая характеристика потока — его *интенсивность* λ, равная среднему числу заявок, поступающих в единицу времени. Величина $1/\lambda$, обратная интенсивности, определяет средний интервал времени между двумя последовательными заявками.

Стационарные и нестационарные потоки заявок. Поток заявок может быть стационарным и нестационарным: *стационарным* — если его характеристики не изменяются во времени; *нестационарным*—если характеристики изменяются во времени.

Характеристики цифровых управляющих систем определяются наиболее просто для стационарного режима функционирования системы, предполагающего стационарность потоков заявок. По этой причине нестационарные потоки аппроксимируются на отдельных отрезках времени стационарными.

Простейший поток. В теории массового обслуживания наибольшее число аналитических результатов получено для потока, называемого простейшим.

Простейший поток обладает следующими свойствами: *стационарностью* (вероятностные характеристики потока не зависят от времени); *отсутствием последействия* (заявки поступают в систему независимо друг от друга, в частности длина интервала времени до момента поступления следующей заявки не зависит от того, поступила в начальный момент заявка или нет); *ординарностью* (в каждый момент времени в систему может поступить не более одной заявки). Для простейшего потока интервалы времени между двумя последовательными заявками—независимые случайные величины с функцией распределения

$$P(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}. \qquad (1.1)$$

Распределение такого вида называется *показательным (экспоненциальным)* и имеет плотность

$$p(\tau) = \lambda \cdot e^{-\lambda\tau}. \qquad (1.2)$$

Математическое ожидание длины интервала времени между последовательными моментами поступления заявок

$$E(\tau) = \int_0^\infty \tau \cdot p(\tau)d\tau = 1/\lambda. \qquad (1.3)$$

Дисперсия интервала времени между последовательными моментами поступления заявок

$$D(\tau) = \int_0^\infty \tau \cdot p(\tau)d\tau - (E[\tau])^2 = 1/\lambda^2. \qquad (1.4)$$

Вычислим вероятность появления коротких интервалов между двумя последовательными заявками, длина которых меньше математического ожидания $E[\tau]=1/\lambda$:

$$\Pr(\tau < E(\tau)) = \int_0^{1/\lambda} \tau \cdot p(\tau)d\tau = \lambda \int_0^{1/\lambda} e^{-\lambda\tau}d\tau = 1 - 1/e \approx 0.63. \qquad (1.5)$$

Таким образом, короткие интервалы более часты, чем длинные, т. е. при простейшем потоке заявки обнаруживают тенденцию к группировке, что создает более тяжелые условия при работе системы по сравнению с другими распределениями потоков заявок.

Для простейшего потока число заявок, поступающих в систему за промежуток времени τ, распределено по *закону Пуассона:*

$$\Pr(k,\tau) = \frac{(\lambda \cdot \tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}, (\lambda > 0), \qquad (1.6)$$

где $\Pr(k,\tau)$—вероятность того, что за время τ в систему поступит точно k заявок; λ — интенсивность потока заявок.

Математическое ожидание и дисперсия распределения Пуассона:

$$E[k] = \sum_{k=1}^{\infty} k \Pr(k,\tau) = \lambda\tau,$$
$$D[k] = E[k^2] - (E[k])^2 = \lambda\tau. \qquad (1.7)$$

Распределение Пуассона (1.6) дискретно, в то время как распределение интервалов времени в простейшем потоке (1.1) непрерывно.

Если нестационарный поток, интенсивность которого функция времени

$\lambda=\lambda(t)$ описывается законом распределения Пуассона, то такой поток называется *пуассоновским,* но не простейшим, поскольку не выполняется свойство стационарности, присущее простейшему потоку. Иными словами, простейший поток — это стационарный пуассоновский поток.

Простейший поток обладает *следующими особенностями*:

1) Сумма M независимых, ординарных, стационарных потоков заявок с интенсивностями λ_i $(i=1,...,M)$ сходится к простейшему потоку с интенсивностью

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i$$

при условии, что складываемые потоки оказывают более или менее одинаково малое влияние на суммарный поток. Сходимость суммарного потока к простейшему осуществляется очень быстро. Практически можно считать, что сложение четырех-пяти стационарных, ординарных, независимых потоков, сравнимых по интенсивности, достаточно для того, чтобы суммарный поток был близок, к простейшему. Таким образом, для выяснения всех свойств суммарного потока достаточно знать лишь интенсивности суммируемых потоков и практически не требуется знать внутреннюю структуру этих потоков.

2) Простейший поток обладает устойчивостью, состоящей в том, что при суммировании независимых простейших потоков получается снова простейший поток, причем интенсивности складываемых потоков суммируются.

3) Поток заявок, полученный путем случайного разрежения исходного потока, когда каждая заявка с определенной вероятностью p исключается из потока независимо от того, исключены другие заявки или нет, образует простейший поток с интенсивностью $\lambda_p = p\lambda$, где λ—интенсивность исходного потока. В отношении исходного потока заявок делается предположение лишь об ординарности и стационарности.

4) Для простейшего потока характерно, что поступление заявок через короткие промежутки времени более вероятно, чем через длинные: 63% промежутков времени между заявками имеют длину, меньшую среднего периода $E[\tau]=1/\lambda$. Следствием этого является то, что простейший поток по сравнению с другими видами потоков создает наиболее тяжелый режим работы системы. Поэтому предположение о том, что на вход системы поступает простейший поток заявок, приводит к определению предельных

значений характеристик качества обслуживания. Если реальный поток отличен от простейшего, то система будет функционировать не хуже, чем это следует из полученных оценок.

5) Интервал времени между произвольным моментом времени и моментом поступления очередной заявки имеет такое же распределение (1.1) с тем же средним $E[\tau]=1/\lambda$, что и интервал времени между двумя последовательными заявками. Эта особенность простейшего потока является следствием отсутствия последействия.

1.2. Длительность обслуживания заявок

Длительность обслуживания заявки равна промежутку времени, необходимому прибору (устройству) для обслуживания заявки. В общем случае это – случайная величина с законом распределения $B(\tau)$ и математическим ожиданием (средним значением) ϑ. Типы заявок различаются либо законами распределения, либо только средними значениями длительности обслуживания при одинаковых законах распределения. При этом принимается предположение о независимости длительностей обслуживания для различных заявок одного типа, которое вполне справедливо для большинства реальных систем. Длительность обслуживания заявки процессором определяется временем выполнения соответствующей программы. В случае малой разветвленности программы, когда число выполняемых операций практически постоянно, длительность обслуживания может считаться постоянной и равной ϑ. В общем случае прикладные программы реализуют сложные алгоритмы с большим числом разветвлений. Количество операций, выполняемых в процессе обслуживания заявок одного типа, зависит от того, по какой ветви идет реализация алгоритма. В свою очередь путь реализации алгоритма определяется состоянием управляемого объекта, т. е. данными, поступающими в систему. При этом время выполнения программы рассматривается как случайная величина с математическим ожиданием V и дисперсией D. Значения V и D определяются методами оценки трудоемкости алгоритмов, описанными в [1], или путем статистической обработки многих прогонов программы на ЭВМ.

Если известно только среднее время выполнения программы, то время выполнения программы целесообразно аппроксимировать экспоненциальным распределением вида:

$$b(\tau)=\frac{1}{V^*}e^{-\tau/V^*}. \tag{1.8}$$

Данная аппроксимация справедлива, когда программа имеет достаточно большое число ветвей, по которым может развиваться вычислительный процесс, и вероятность развития процесса по коротким ветвям больше, чем по длинным. Даже если программа не имеет таких свойств, аппроксимация (1.8) целесообразна по следующим причинам: 1) использование экспоненциального распределения упрощает аналитические выкладки; 2) получаемые оценки являются предельными.

1.3. Характеристики бесприоритетных дисциплин обслуживания

Под *дисциплиной обслуживания* заявок понимаются правила, по которым заявки выбираются из очередей для обслуживания.

При *бесприоритетной* дисциплине заявки разных типов не имеют заранее определенных привилегий на досрочное обслуживание. Это правило выполняется, если заявки на обслуживание выбираются:

1) в порядке поступления (первой обслуживается заявка, поступившая раньше других) - FIFO;

2) в порядке, обратном порядку поступления заявок (первой обслуживается заявка, поступившая позже других) - LIFO;

3) наугад, т.е. путем случайного выбора из очереди.

Эти три бесприоритетных дисциплины характеризуются одинаковым средним временем ожидания заявок, но дисциплина FIFO минимизирует дисперсию времени ожидания, т.е. уменьшает разброс времени ожидания относительно среднего значения. По этой причине дисциплина FIFO используется наиболее часто.

Бесприоритетное обслуживание заявок на основе дисциплины FIFO организуется в соответствии с рис. 1.1, где *Пр* - процессор и *О* - очередь заявок типа $z_1..z_M$. Вновь поступившая заявка заносится в конец очереди. Заявки выбираются на обслуживание из начала очереди.

Пусть в систему поступают заявки M типов с интенсивностями $\lambda_1,..,\lambda_M$. Предположим, что каждый из входящих потоков заявок - пуассоновский. В таком случае суммарный поток заявок также пуассоновский и его интенсивность равна:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i \qquad (1.9)$$

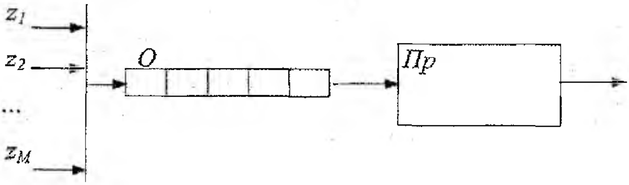

Рис. 1.1. Организация бесприоритетного обслуживания заявок на основе дисциплины FIFO

Пусть известны также математические ожидания $V_1,...,V_M$ и вторые начальные моменты $V^{(2)}_1,...,V^{(2)}_M$ времени обслуживания заявок типа $1,...,M$ соответственно. Эти значения характеризуют распределение времени выполнения соответствующих программ. Тогда при использовании бесприоритетной дисциплины обслуживания *среднее время ожидания заявок всех типов одинаково* и равно

$$w = \frac{\sum_{i=1}^{M} \lambda_i \vartheta_i^{(2)}}{2(1-R)}, \qquad (1.10)$$

где $R=(\rho_1+...+\rho_M)<1$ - суммарная загрузка системы и $\rho_i = \lambda_i\ \vartheta_i$.

Выразим второй начальный момент $\vartheta_i^{(2)}$ через коэффициент вариации $v_i=\sigma_i/\vartheta_i$, определяющий отношение среднеквадратичного отклонения длительности обслуживания σ_i к его математическому ожиданию: $\vartheta_i^{(2)}=\vartheta_i^2+\sigma_i^2=\vartheta_i^2(1+v_i^2)$. С учетом этого среднее время ожидания

$$w = \frac{\sum_{i=1}^{M} \rho_i \vartheta_i\ (1+v_i^2)}{2(1-R)} \qquad (1.11)$$

Из (1.11) видно, что среднее время ожидания заявок в очереди минимально при постоянной длительности обслуживания заявок каждого типа $(v_i=0)$ и увеличивается по мере роста дисперсии времени обслуживания. Среднее время ожидания существенно зависит от общей загрузки R процессора *Пр*. При $R\to 1$ время ожидания заявок стремится к $+\infty$, т.е. заявки могут ожидать обслуживания сколь угодно долго. При постоянных характеристиках входящих потоков увеличение общей загрузки R соответствует уменьшению быстродействия процессора *Пр.*

Время пребывания заявки типа $i=1,..,M$ в системе равно сумме времени ожидания w_i и времени обслуживания ϑ_i, т.е. $u_i=w_i+\vartheta_i$. Поскольку при бесприоритетном обслуживании $w_i=w$, то время пребывания $u_i=w+\vartheta_i$. При одинаковом времени ожидания время пребывания заявок разных типов различно.

1.4. Характеристики дисциплины обслуживания с относительными приоритетами заявок

Если требуется, чтобы заявки некоторого типа имели меньшее время ожидания (время пребывания), чем заявки других типов, то необходимо первым предоставить преимущественное право на обслуживание, называемое *приоритетом.*

В сетях связи для ЭВМ характерной является передача сообщений с различными приоритетами. Коротким сообщениям, содержащим подтверждения, часто назначают более высокий приоритет, чем информационным сообщениям. По сети могут передаваться сообщения 2 и более категорий срочности.

Если приоритеты учитываются только в момент выбора заявки на обслуживание, то их называют *относительными.* В момент выбора сравниваются приоритеты заявок, находящихся в состоянии ожидания, их обслуживание предоставляется заявке с наиболее высоким приоритетом, после этого выбранная заявка захватывает процессор. Если в процессе обслуживания той заявки поступают заявки с более высокими приоритетами, то процесс обслуживания заявки, имеющей больший приоритет, не прекращается, т.е. эта заявка, захватив процессор, оказывается наиболее приоритетной. Этот возникший приоритет относителен: он имеет место только после захвата процессора. При использовании относительных приоритетов обработка заявок организуется по схеме рис. 1.2.

Заявкам типа $z_1,...,z_M$ присвоены относительные приоритеты $1,...,M$ соответственно. Заявка z_p, поступившая в систему, заносится в очередь O_p, в которой хранятся заявки приоритета $p=1,...,M$. В очереди O_p заявки упорядочены по времени поступления. Когда процессор заканчивает ранее начатое обслуживание, то управление передается программе *диспетчер.*

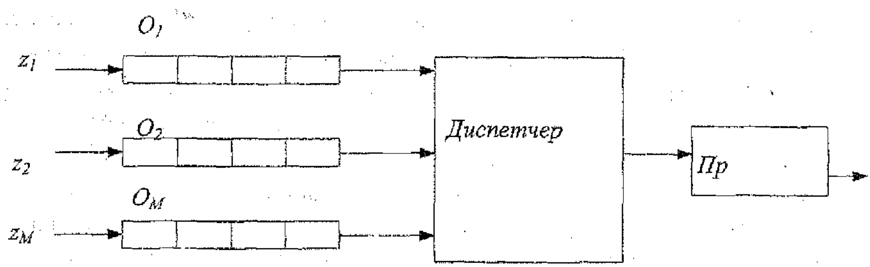

Рис. 1.2. Организация обработки заявок с относительными приоритетами

Диспетчер выбирает на обслуживание заявку с наибольшим приоритетом - заявку z_i, если очереди $O_1,...,O_{i-1}$ не содержат заявок. Выбранная заявка захватывает процессор на все время обслуживания.

Если в систему поступает M простейших потоков с интенсивностями $\lambda_1,...,\lambda_M$ и длительности обслуживания заявок каждого потока имеют математические ожидания $\vartheta_1,...,\vartheta_M$ и вторые начальные моменты $\vartheta_1^{(2)},..., \vartheta_M^{(2)}$ соответственно, то среднее время ожидания заявок, имеющих приоритеты $k=1,...,M$, определяется значениями:

$$w_k = \frac{\sum\limits_{i=1}^{M} \rho_i \vartheta_i \,(1+\nu_i^2)}{2(1-R_{k-1})(1-R_k)}, \tag{1.12}$$

где $R_{k-1} = \rho_1 + \rho_2 + ... + \rho_{k-1}$ и $R_k = \rho_1 + \rho_2 + ... + \rho_k$ – загрузки, создаваемые потоками заявок $z_1..z_{k-1}$ и $z_1..z_k$ соответственно.

Введение относительных приоритетов приводит к уменьшению времени ожидания заявок с высокими приоритетами и увеличению времени ожидания заявок с низкими приоритетами по сравнению с бесприоритетным обслуживанием.

1.5. Характеристики дисциплин обслуживания с абсолютными приоритетами

В ряде случаев время ожидания заявок некоторых типов нужно уменьшить в такой степени, которая недостижима при использовании относительных приоритетов. Время ожидания значительно уменьшиться, если при поступлении высокоприоритетной заявки обслуживание ранее поступившей заявки с низшим приоритетом прерывается, и процессор тут же предоставляется для обслуживания высокоприоритетной заявки. Дисциплина обслуживания, при которой высокоприоритетная заявка прерывает обслуживание заявки с низким приоритетом, называется *дисциплиной обслуживания с абсолютными приоритетами*.

При использовании абсолютных приоритетов обслуживание заявок организуется по схеме рис. 1.3., где 1 - заявка, ожидающая обслуживания; 2 - прерванная заявка. Для каждого потока заявок $z_1,...,z_M$ организуется очередь $O_1,...,O_M$, в которой заявки размещаются в порядке поступления. Заявкам $z_1,...,z_M$ соответствуют абсолютные приоритеты $1,...,M$. Если процессор занят обслуживанием заявки z_i и на вход поступает заявка типа z_j, то при $i \leq j$ заявка z_j заносится в конец очереди O_j, а при $i > j$ обслуживание заявки z_i прерывается, заявка z_i заносится в начало очереди O_i и диспетчер переключает прибор на обслуживание заявки z_j.

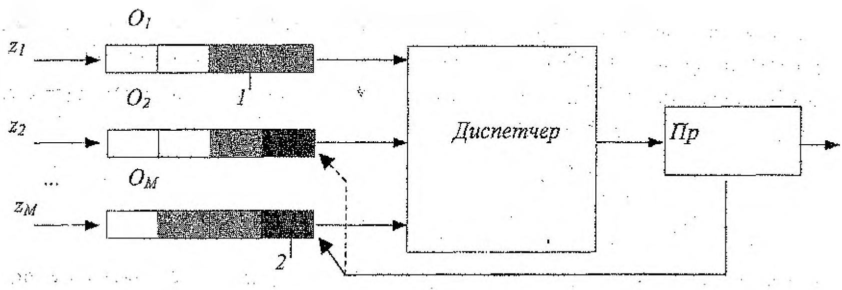

Рис. 1.3. Организация обработки заявок с абсолютными приоритетами

Обслуживание прерванных заявок может проводиться от начала; от момента прерывания (дообслуживание).

По возможности стремятся использовать второй способ - дообслуживание прерванных заявок. В случае, когда длительность обслуживания распределена по экспоненциальному закону, среднее время дообслуживания совпадает со средним временем обслуживания заявки. Когда прерывание предполагает дообслуживание, сохраняется вся информация о процессе обслуживания, необходимая для возобновления (продолжения) обслуживания. Если потоки заявок - простейшие с интенсивностями $\lambda_1,...,\lambda_M$ и длительности обслуживания заявок каждого потока имеют математические ожидания $\vartheta_1,...,\vartheta_M$ и вторые начальные моменты $\vartheta_1^{(2)},..., \vartheta_M^{(2)}$ и прерванные заявки дообслуживаются от точки прерывания, то среднее время ожидания заявки с абсолютным приоритетом $k = \overline{1,...,M}$, определяется значением:

$$w_k = \frac{R_{k-1}\vartheta_k}{1-R_{k-1}} + \frac{\sum_{i=1}^{M}\rho_i\vartheta_i\,(1+v_i^2)}{2(1-R_{k-1})(1-R_k)}. \tag{1.13}$$

Присваивание заявкам абсолютных приоритетов приводит к уменьшению времени ожидания заявок с высокими приоритетами, но одновременно с этим увеличивается время ожидания низкоприоритетных заявок.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВС И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

2.1. Характеристики ВС и их элементов при одномерном потоке заявок

Одной из важнейших характеристик качества функционирования ВС и их элементов является *загрузка:*

$$\rho=\lambda/\mu, \tag{2.1}$$

где λ — интенсивность поступления заявок в систему; μ— интенсивность обслуживания заявок – величина, обратная длительности обслуживания:

$$\mu = 1/\vartheta. \tag{2.2}$$

Заменяя в (2.1) μ величиной $1/\vartheta$, получаем $\rho=\lambda\vartheta$. Значение $\lambda\vartheta$ определяет среднее число заявок, поступающих в систему за среднее время обслуживания одной заявки. Наряду с этим величина загрузки характеризует долю времени, в течение которого обслуживающий прибор занят обслуживанием заявок, и одновременно вероятность того, что в произвольный момент времени обслуживающий прибор работает (не простаивает). Покажем это следующими элементарными рассуждениями. Пусть рассматриваемая система функционирует в течение достаточно большого периода времени T. Число заявок, поступивших в систему, равно в среднем λT, и они обслуживаются в среднем за время $\lambda T\vartheta$, где ϑ—средняя длительность обслуживания. Тогда доля времени, в течение которого система была занята обслуживанием заявок,

$$\lim_{T\to\infty}(\lambda T\vartheta/T) = \lambda\vartheta = \rho. \tag{2.3}$$

Поскольку загрузка ρ определяет вероятность того, что система занята обслуживанием, т. е. работает, то вероятность простоя определяется значением

$$\eta=1-\rho, \tag{2.4}$$

называемым *коэффициентом простоя*. При этом предполагается, что $\rho<1$, что справедливо для всех реальных систем.

Все время работы системы можно условно разбить на два интервала: интервал переходного режима работы системы от момента начала работы системы до момента входа в стационарный режим и интервал стационарного режима. *Стационарным (установившимся) режимом* называют такой режим работы, *при котором вероятностные характеристики функционирования* системы не зависят от времени. Условие существования стационарного режима определяется значением загрузки $\rho<1$. Если $\rho>1$, т. е. интенсивность поступления заявок превышает интенсивность их обслуживания, то работа системы характеризуется неограниченным возрастанием длины очереди заявок перед обслуживающим прибором, т. е. не существует стационарного режима работы системы. Случай равенства интенсивностей поступления заявок и их обслуживания $(\rho=1)$ не тривиален и требует в каждом конкретном случае особого рассмотрения.

Качество функционирования ВС определяется *временем пребывания заявок в системе,* равным промежутку времени от момента поступления заявки в систему до момента окончания обслуживания ее в процессоре. Время пребывания u складывается из *времени ожидания* w, когда заявка находится в очереди, и *времени обслуживания* ϑ ее в процессоре, т. е.

$$u=w+\vartheta\,. \tag{2.5}$$

В общем случае время ожидания является суммой двух составляющих: *времени ожидания начала обслуживания* $w_н$, равного промежутку времени от момента поступления заявки в систему до момента, когда заявка в первый раз принимается на обслуживание, и *времени ожидания в прерванном состоянии* $w_п$, связанного с прерыванием обслуживания рассматриваемой заявки и ожиданием дальнейшего обслуживания:

$$w=w_н+w_п\,. \tag{2.6}$$

Если обслуживание заявки не прерывается, то $w_п=0$ и $w=w_н$.

При исследовании дисциплин обслуживания заявок в ВС время обслуживания ϑ не изменяется с изменением дисциплины. Следовательно, наряду со временем пребывания как характеристики качества функционирования ВС может использоваться время ожидания заявок в системе. Поскольку большинство результатов получено для времени ожидания, в дальнейшем в качестве основной характеристики функционирования ВС будем рассматривать время ожидания заявок, помня, что $u=w+\upsilon$. Остальные характеристики обслуживания заявок, такие, как средняя длина очереди и среднее число заявок в системе, связаны простыми соотношениями с временем пребывания и временем ожидания заявок.

Для систем с неограниченным ожиданием, когда поступившая заявка ожидает в очереди обслуживания сколь угодно долго, не покидая систему, средняя *длина очереди* связана со средним временем ожидания заявок w зависимостью

$$l=\lambda w, \tag{2.7}$$

где λ—интенсивность поступления заявок в систему. Это выражение становится очевидным, если учесть, что за время w в среднем поступает λw заявок, которые ожидают в очереди начала обслуживания.

Аналогичными рассуждениями можно получить выражение для среднего *числа заявок в системе*.

$$n=\lambda u=\lambda(w+\upsilon)=\lambda w+\lambda\upsilon=l+\rho. \tag{2.8}$$

Среднее число заявок в системе больше средней длины очереди заявок на величину загрузки ρ, которая в данном случае может рассматриваться как среднее число заявок, обслуживаемых в процессоре ВС. Действительно, в процессоре на каждый момент времени с вероятностью р находится одна заявка на обслуживании и с вероятностью $(1—\rho)$ — нуль заявок (процессор простаивает). Поэтому среднее число заявок, обслуживаемых в процессоре, равно:

$$\rho\cdot 1+(1-\rho)\cdot 0=\rho.$$

2.2. Характеристики ВС и их элементов при многомерном потоке заявок

На вход обслуживающего прибора может поступать многомерный поток заявок с интенсивностями $\lambda_1,...,\lambda_M$, состоящий из заявок типа $1,...,M$. Тогда загрузка прибора потоком заявок типа i будет составлять $\rho_i=\lambda_i\vartheta_i$, где ϑ_i - средняя длительность обслуживания заявок типа i. Суммарная (общая) загрузка прибора со стороны всех потоков $R=\sum_{i=1}^{M}\rho_i$. В этом случае условие существования стационарного режима представляется в виде $R<1$ и коэффициент простоя прибора $\eta=1-R$. Остальные характеристики обслуживания в случае многомерного потока определяются для каждого потока аналогичным образом и для заявок типа i равны $u_i = w_i + \vartheta_i, l_i = \lambda_i w_i, n_i = \lambda_i u_i$.

Среднее время ожидания w_{cp} и пребывания u_{cp} одной заявки из суммарного потока в системе:

$$w_{cp} = \sum_{i=1}^{M} \frac{\lambda_i}{\Lambda} w_i = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^{M} l_i = \frac{l_{cp}}{\Lambda}, \tag{2.9}$$

$$u_{cp} = \sum_{i=1}^{M} \frac{\lambda_i}{\Lambda} u_i = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^{M} n_i = \frac{n_{cp}}{\Lambda}, \tag{2.10}$$

где λ_i / Λ - *вероятность того, что поступившая заявка является заявкой типа i;*

$$l_{cp} = \sum_{i=1}^{M} l_i = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i w_i \tag{2.11}$$

- *среднее число заявок всех типов, находящихся в очереди* (или в очередях в случае нескольких очередей);

$$n_{cp} = \sum_{i=1}^{M} n_i = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i u_i = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i (w_i + \vartheta_i) = l_{cp} + R \tag{2.12}$$

- *среднее число заявок всех типов в системе;*

$$R = \sum_{i=1}^{M} \rho_i = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i \vartheta_i \tag{2.13}$$

- суммарная загрузка системы, которая в данном случае определяет среднее число заявок, обслуживаемых в процессоре.

3. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ

При изменении дисциплины обслуживания время ожидания заявок в очередях сокращается для одних типов заявок за счет увеличения времени ожидания заявок других типов. Л. Клейнрок показал, что для систем с одним обслуживающим прибором *закон сохранения времени ожидания:* для любой дисциплины обслуживания

$$\sum_{i=1}^{M} \rho_i w_i = const, \tag{3.1}$$

т.е. инвариантна относительно дисциплины обслуживания. Здесь ρ_i - загрузка прибора; w_i - среднее время ожидания в очереди заявок типа $i=1,...,M$.

Закон сохранения времени ожидания справедлив, если система отвечает *следующим требованиям:*

1) отсутствие отказов в обслуживании, т.е. все заявки на обслуживание удовлетворяются;

2) система обслуживания простаивает лишь в том случае, когда на ее входе нет заявок на обслуживание;

3) при наличии прерываний длительность обслуживания описывается экспоненциальным распределением;

4) все входные потоки описываются независимыми пуассоновскими распределениями, и длительность обслуживания не зависит от входных потоков.

Закон сохранения времени ожидания универсален и справедлив для всех дисциплин обслуживания заявок, удовлетворяющих указанным требованиям. Его можно использовать для оценки достоверности приближенных результатов, полученных при анализе сложных дисциплин обслуживания и проведении статистического моделирования.

ЛАБОРАТОРНАЯ ЛАБОТА №1

ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК В ВС

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение свойств и характеристик моделирующих потоков заявок и основных дисциплин обслуживания заявок в ВС.

1. Порядок проведения работы

Для выполнения работы используется моделирующая программа функционирования системы с одним обслуживающим прибором.

1.1. Изучить основные теоретические сведения о потоках и дисциплинах обслуживания заявок в ВС.

1.2. Для своего варианта задания (табл. П.1, табл. П.2) определить время ожидания на обслуживание для каждой из дисциплин обслуживания заявок. Построить графики зависимостей времен ожидания от приоритета заявки для быстродействия обслуживающего устройства 70 тыс. оп./с.

1.3. Поменяв приоритеты относительной и абсолютной дисциплин обслуживания на противоположные, определить времена ожидания для указанных дисциплин. Сравнить полученные значения для соответствующих потоков с результатами п.1.2.

1.4. Для дисциплины обслуживания с относительным приоритетом построить зависимости времен ожидания заявок от быстродействия обслуживающего устройства В (В=70 тыс.оп/с – 170 тыс.оп./с, с шагом 10 тыс.оп./с). Проанализировать соотношения между временем ожидания заявок с различными приоритетами.

1.5. Для дисциплины обслуживания с абсолютным приоритетом построить зависимости времен ожидания заявок от быстродействия обслуживающего устройства В (В=70 тыс.оп/с – 170 тыс.оп./с, с шагом 10 тыс.оп./с). Проанализировать соотношения между временем ожидания заявок с различными приоритетами. Дать сравнительный *анализ результатов выполнения п.1.4., п.1.5. для заявок соответствующих приоритетов.*

2. Содержание отчета

2.1. Цель работы.

2.2. Для п.1.2, 1.3 – сводные таблицы результатов, соответствующие графики, краткие выводы.

2.3. Для п. 1.4, 1.5 – соответствующие графики, выводы по полученным результатам моделирования.

2.4. Общие выводы по полученным результатам моделирования системы с одним обслуживающим устройством.

3. Контрольные вопросы

3.1. Потоки заявок. Стационарные, нестационарные потоки

3.2. Свойства простейшего потока

3.3.Закон распределения интервалов времени между двумя последовательными заявками в простейшем потоке и его свойства

3.4. Закон распределения количества заявок в единицу времени и его свойства

3.5. Особенности простейшего потока

3.6. Длительность обслуживания заявок

3.7. Почему время обслуживания носит случайный характер?

3.8. Определение дисциплины обслуживания заявок

3.9. Характеристики бесприоритетных дисциплин обслуживания

3.10. Пусть на входе системы имеется единственный поток заявок *(M=1)*. Выведите простое соотношение для вычисления времени пребывания заявки в системе *u* при бесприоритетной дисциплине обслуживания для случая экспоненциального распределения времени обслуживания заявок (коэффициент вариации *ν=1*). От каких параметров зависит время пребывания заявки в системе?

3.11. Характеристики дисциплины обслуживания с относительными приоритетами заявок

3.12. Характеристики дисциплины обслуживания с абсолютными приоритетами заявок

ЛАБОРАТОРНАЯ ЛАБОТА №2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВС И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение базовых характеристик функционирования ВС и их элементов, приобретение навыков по их расчету.

1. Порядок проведения работы

1.1. Изучить основные теоретические сведения о базовых характеристиках функционирования ВС и их элементов.

1.2. Приняв быстродействие обслуживающего устройства равным 100 тыс.оп./с., для заявок каждого типа рассчитать средние значения времени ожидания, времени выполнения, времени пребывания заявок, а также средние значения данных параметров для заявок всех типов.

1.3. Для заявок каждого типа рассчитать средние значения длин очередей, средние значения числа заявок в системе, средние значения данных параметров для заявок всех типов.

1.4. Рассчитать загрузку обслуживающего устройства каждым типом заявок, суммарную загрузку обслуживающего устройства.

1.5. Приняв в качестве исходного входного потока суммарный поток со средней трудоемкостью, определить предельную производительность системы. построить график зависимости производительности от интенсивности исходного потока.

1.6. Проверить выполнение закона сохранения времени ожидания для дисциплин обслуживания с относительным и абсолютным приоритетами.

2. Содержание отчета

Исходные данные взять из приложения лабораторной работы №1 (табл. П.1, табл. П.2) в соответствии с номером задания.

2.1. Цель работы.

2.2. Для п.1.3, 1.4 – сводные таблицы результатов (табл. П.3,табл. П.4).

2.3. График зависимости производительности от интенсивности исходного потока, значение предельной производительности системы.

2.4. Для п.1.6.- сводная таблица результатов (табл. П.5).

2.5. Общие выводы по результатам моделирования.

3. Контрольные вопросы

3.1. Определение производительности системы

3.2. Способы определения загрузки системы. Чему равна предельная загрузка системы?

3.3. Что такое стационарный режим работы системы?

3.4. Как определяется время пребывания заявки в системе?

3.5. Как определяется длина очереди?

3.6. Каким образом можно определить среднее число заявок в ВС?

3.7. Как определить время обслуживания заявки?

3.8. Определение среднего времени ожидания заявок в ВС при многомерном потоке

3.9. Определение среднего времени пребывания заявок в ВС при многомерном потоке

3.10. Определение средней длины очереди заявок в ВС при многомерном потоке

3.11. Определение суммарной загрузки процессора в ВС при многомерном потоке

3.12. Определение среднего числа заявок всех типов в ВС

3.13. Закон сохранения времени ожидания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 544с.
2. Основы теории вычислительных систем. Под ред. С.А. Майорова. Учеб. пособие для вузов: М., «Высш. школа», 1978.
3. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. Пер. с англ./ Под ред. В.А. Жожикашвили. -М.: Радио и связь, 1981. - 336с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты заданий к лабораторным работам №1, №2

Таблица П.1.

Характеристики потоков заявок

№ вар.	Количество заявок	Интенсивность потока, 1/с				
		1	2	3	4	5
1	5	4.5	3.5	2.1	2.9	5.1
2	4	4.9	3.3	2.7	4.0	-
3	5	2.1	3.4	6.1	4.3	2.6
4	4	3.1	5.4	2.1	3.0	-
5	5	3.4	5.3	4.2	2.8	1.3
6	4	3.3	4.7	4.0	3.8	-
7	5	8.0	4.0	2.9	4.1	6.1
8	4	4.0	4.8	5.0	3.9	-
9	5	1.9	2.3	3.7	5.0	3.9
№ вар.	Количество заявок	Трудоемкость (тыс. оп)				
		1	2	3	4	5
1	5	1.0	2.0	2.5	1.5	4.2
2	4	1.5	2.0	0.5	3.5	-
3	5	1.3	3.0	0.9	0.7	5.0
4	4	2.4	1.9	0.5	1.1	-
5	5	3.6	3.5	3.7	2.1	2.1
6	4	2.7	2.0	4.3	3.1	-
7	5	0.9	4.0	1.6	4.6	0.9
8	4	1.5	0.5	1.0	3.3	-
9	5	1.0	1.9	0.7	2.4	0.7

Таблица П.2.

Приоритеты потоков (для приоритетных дисциплин обслуживания)

№ вар.	Количество заявок	Приоритеты потоков				
		1	2	3	4	5
1	5	5	1	2	3	4
2	4	1	3	4	2	-
3	5	1	3	5	2	4
4	4	1	2	3	4	-
5	5	5	4	3	2	1
6	4	4	1	2	3	-
7	5	2	4	5	1	3
8	4	3	4	2	1	-
9	5	5	1	3	2	4

Примеры оформления сводных таблиц результатов

Таблица П.3.

Тип заявки	Загрузка	Время пребывания	Время обслуживания	Длина очереди	Количество заявок в системе
1					
2					
...					

Таблица П.4.

Общая загрузка	Среднее время пребывания	Среднее время обслуживания	Средняя длина очереди	Среднее Количество заявок в системе	Среднее время ожидания заявки

Таблица П.5.

Тип заяв-ки	Время ожидания для отн. приоритета	Время ожидания для абс. приоритета	Суммарное время ожидания для отн. приоритета	Суммарное время ожидания для абс. приоритета	Значение выражения (3.1) для отн. приоритета	Значение выражения (3.1) для абс. приоритета
1						
2						
...						

Учебное издание

Составители: Савицкий Юрий Викторович
Шуть Василий Николаевич
Стрекалова Лилия Александровна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по курсу «Вычислительные комплексы, системы и сети» для студентов специальности Т10.01.03

ЧАСТЬ 1

Ответственный за выпуск Савицкий Ю. В.
Редактор Строкач Т. В.

Подписано к печати 19.02.2001г.
Формат 60х84/16
Усл. п.л. 1,4. Уч. изд. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ № 225
Отпечатано на ризографе
Брестского государственного технического университета.
224017, Брест, ул. Московская, 267.