

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Василя Стефаника

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

М.Л. Петришин, Л.Б. Петришин

АРХІТЕКТУРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Цикл лабораторних робіт № 2.1 – 2.4

**ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ
З ОЧІКУВАННЯМ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Івано-Франківськ

М.Л.Петришин, Л.Б.Петришин Архітектура ОС

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з предмету «Архітектура обчислювальних систем» для студентів факультету математики та інформатики спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» / М.Л. Петришин, Л.Б. Петришин. — Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, 2019. — 37 с.

Затверджено на засіданні кафедри КНІС.
Протокол № 1 від 30 серпня 2019 р.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з предмету «Архітектура обчислювальних систем» для студентів спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» факультету математики та інформатики

Автори: к.т.н. Михайло Любомирович Петришин,
д.т.н., проф. Любомир Богданович Петришин
Рецензент: д.т.н., проф. Ігор Тимофійович Когут
зав. каф. комп'ютерної інженерії
та електроніки

За редакцією авторів

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника
факультет математики та інформатики
76018, Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57
тел. (0342) 75-23-51, факс (0342) 53-15-74
e-mail: inst@pu.if.ua

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 4 |
| Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт | 6 |
| Оптимізація багатопроцесорних ОС з очікуванням обслуговування. Теоретичні основи оптимізації обслуговування в ОС з очікуванням | 8 |
| Контрольні запитання для самоперевірки | 13 |
| Цикл лабораторних робіт № 2 | 14 |
| Лабораторна робота № 2.1..... | 15 |
| Лабораторна робота № 2.2..... | 19 |
| Лабораторна робота № 2.3..... | 21 |
| Лабораторна робота № 2.4..... | 23 |
| Список рекомендованої літератури | 29 |

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з предмету «Архітектура обчислювальних систем», орієнтовані на підготовку студентів спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки та інформаційні технології».

Метою викладання навчального предмету «Архітектура обчислювальних систем» є вивчення принципів побудови обчислювальних систем, їх технічних характеристик, а також проектування архітектури багатопроцесорних обчислювальних систем.

Мета лабораторних робіт - набуття студентами навичок з моделювання обчислювального навантаження та проектування архітектури багатопроцесорних обчислювальних систем.

Кожна з лабораторних робіт включає етапи:

- побудови функціональної схеми, яка реалізує задані функції;
- написання алгоритму цифрової обробки даних;
- висновки за отриманими результатами виконання завдання та оформлення звіту.

Основними завданнями вивчення предмету «Архітектура обчислювальних систем» є вивчення методів моделювання обчислювального навантаження та проектування архітектури багатопроцесорних обчислювальних систем.

Архітектура обчислювальних систем - 5 семестр

Кількість кредитів ECTS - 3

Загальний обсяг – 90 год.

Аудиторних всього – 30 год.

Лекції – 14 год.

Практичні – 16 год.

Самостійна робота – 60 год.

В результаті вивчення предмету студент повинен

1. Знати:

- принципи побудови ОС і МПС, їх елементну базу, технічні характеристики, поширені приклади ОС і МПС;
- принципи організації обчислень а ОС і МПС і способи прискорення обчислень;
- принципи управління обчислювальним процесом і його реалізацію;
- принципи побудови технічних засобів ОС і МПС і програм їх управління;
- принципи побудови паралельних і мережевих систем;
- перспективи розвитку ОС і МПС.

2. Вміти:

- визначати технічний рівень ОС і МПС;
- здійснити дослідження роботи ОС і МПС на рівні внутрішніх ресурсів;
- виконати обґрунтування розширення функціональних можливостей ОС та її складових частин.

Підсумковий контроль знань студентів включає: іспит/залік.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

В навчальній лабораторії при виконанні лабораторних робіт викорис-товується робоча напруга, небезпечна для життя.

Перед початком роботи в навчальній лабораторії на початку навчального року відповідальний за техніку безпеки (ТБ) проводить інструктаж, після чого заповнює журнал, у якому розписуються студенти та той, хто проводив інструктаж.

У разі порушення правил ТБ при роботі в навчальній лабораторії викладачу необхідно звернути на це увагу групи з метою запобігання повторення порушення правил ТБ.

Налагодження і підготовку комп'ютерів до роботи, під'єднання пристроїв та встановлення відповідного програмного забезпечення, усунення будь-яких неполадок у роботі комп'ютера та пристроїв здійснюють виключно фахівці.

Під час роботи з комп'ютером у навчальній лабораторії **заборонено:**

- самостійно намагатися усунути будь-які неполадки в роботі комп'ютера, незалежно від того, коли і з чиєї вини вони трапились;
- від'єднувати і під'єднувати будь-які пристрої комп'ютера;
- доторкатися до будь-яких деталей на задній панелі системного блоку;
- знімати кришку корпусу системного блоку;
- вставляти чи виймати диски (магнітні й оптичні) під час роботи дисководів, коли світиться індикатор на дисководі;
- силоміць вставляти чи виймати носії пам'яті;
- застосовувати непередбачуваний вплив до будь-яких пристроїв — стукати по пристроях, трясти їх, перевертати, розбирати тощо.

Крім того, під час роботи за комп'ютером необхідно **дотримуватися** таких правил:

Оптимізація ОС з очікуваннями

1. Дисплей повинен бути розвернений від вікон під кутом, не меншим 90°, з метою запобігання потрапляння на екран прямих сонячних променів та уникнення відблиску, що значно ускладнює читання інформації з екрана дисплея.
2. Екран дисплея повинен бути очищений від пилу, який спричиняє появу шкідливих впливів при роботі за дисплеєм.
3. На робочому місці, де встановлено комп'ютер, не повинні знаходитися сторонніх речей, напоїв, їжі чи її залишків тощо.
4. Перед початком роботи за комп'ютером слід вимити і насухо витерти руки для запобігання появи плям на клавіатурі, корпусі комп'ютера, дисплея, мишки та ін.
5. Через кожні 25 хв. роботи за екраном дисплея слід зробити перерву на кілька хвилин, під час якої записати отримані результати, підготувати дані для продовження роботи чи її план, або просто відпочити.
6. Якщо використовується мишка, необхідно користуватись килимком для запобігання забруднення, що може призвести до виходу з ладу.
7. Якщо клавіатура не використовується, рекомендовано накрити спеціальною кришкою для запобігання попадання пилу чи якихось предметів під клавіші, що може призвести до ушкодження клавіатури.
8. При виникненні будь-яких запитань під час роботи з комп'ютером слід звертатися до викладача.

При виконанні завдань на комп'ютерній техніці **рекомендовано:**

- користуватися клавіатурою, під'єднаною до комп'ютера;
- користуватися маніпулятором типу миші;
- вмикати комп'ютер за допомогою вмикача на передній панелі системного блоку;
- вимикати комп'ютер тільки належним чином;
- після появи на екрані дисплея повідомлення «Тепер комп'ютер можна вимкнути» вимикати комп'ютер за допомогою вмикача на передній панелі системного блоку.

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ ОС З ОЧІКУВАННЯМИ

Теоретичні основи оптимізації обслуговування в ОС з очікуваннями

В ОС з очікуванням вхідний потік не обмежений кількістю задач, тому стан такої системи представляють кількістю задач, які перебувають в режимі обслуговування в системі та кількістю задач, що знаходяться в черзі у вхідному накопичувачі в режимі очікування. Черга формується за умови, якщо в поточний момент часу кількість задач, що потребують обслуговування, перевищує кількість вільних процесорів.

В результаті обслуговування системою запитів вхідного потоку протягом інтервалу часу Δt можуть виникнути чотири стани, що є комбінаціями таких двох умов:

- поступив чи ні в ОС запит із вхідного потоку та
- закінчено чи ні обслуговування хоча б однієї задачі.

Проаналізуємо вказані основні чотири стани, в яких може перебувати ОС з очікуваннями, якщо у вихідний момент часу t в системі перебувало k задач. Врахуємо, що ймовірність того, що протягом інтервалу часу Δt поступить один запит, становить

$$P_{k, k+1}(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t} \approx 1 - (1 - \lambda \Delta t) = \lambda \Delta t.$$

1. Якщо протягом інтервалу часу Δt в систему не поступило жодного запиту і не закінчено обслуговування жодної задачі, то ймовірності виникнення кожної із двох вказаних подій становлять $(1 - \lambda \Delta t)$ і $(1 - \mu k \Delta t)$. Ймовірність одночасного виникнення обох подій становить

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t) (1 - \lambda \Delta t) (1 - \mu k \Delta t).$$

2. В ОС на момент часу t перебувало $k-1$ задач. Протягом інтервалу часу Δt поступив один запит, але ні одна задача систему не покинула. Ймовірність переходу системи в стан k рівна

$$P_k(t + \Delta t) = P_{k-1}(t) \lambda \Delta t (1 - \mu k \Delta t).$$

3. В системі на момент часу t перебували $k+1$ задач. Протягом інтервалу часу Δt одна задача покинула ОС і не поступив ні один запит. Ймовірність переходу системи в стан k становить

$$P_k(t + \Delta t) = P_{k+1}(t)(1 - \lambda\Delta t) \mu k\Delta t.$$

4. Протягом інтервалу Δt в систему поступив один запит і одна задача систему покинула. Ймовірність одночасного виникнення обох подій становить

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t) \lambda\Delta t \mu k\Delta t.$$

Варіанти переходу ОС в інші стани, що зумовлені більшою кількістю замін задач в системі не розглядаються, оскільки ймовірність сумісного виникнення такої події є нехтуючи малою і не спричиняє істотної похибки результатів моделювання ОС.

Таким чином, ймовірність переходу системи в стани k визначається як сума отриманих вище ймовірностей

$$\begin{aligned} P_k(t + \Delta t) &= P_{k-1}(t) \lambda\Delta t (1 - \mu k\Delta t) + P_k(t) (1 - \lambda\Delta t) (1 - \mu k\Delta t) + \\ &+ P_k(t) \lambda\Delta t \mu k\Delta t + P_{k+1}(t) (1 - \lambda\Delta t) \mu k\Delta t = \\ &= P_{k-1}(t) \lambda\Delta t + P_k(t) (1 - \lambda\Delta t - \mu k\Delta t) + P_{k+1}(t) \mu k\Delta t. \end{aligned}$$

У кінцевому виразі всі члени, що вміщують величину другого порядку малості Δt^2 опущені, оскільки

$$P_{k, k+2}(\Delta t) = \theta(\Delta t),$$

тому ними можна знехтувати.

За умови $\Delta t \rightarrow 0$ переходимо до границі, внаслідок чого отримуємо похідну від $P_k(t)$, що утворює систему лінійних диференціальних рівнянь для різних меж зміни k :

$$P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)$$

$$P'_k(t) = \lambda P_{k-1}(t) - (\lambda + k\mu)P_k(t) + (k+1)\mu P_{k+1}(t) \quad (1 \leq k < n),$$

$$P'_k(t) = \lambda P_{k-1}(t) - (\lambda + n\mu)P_k(t) + n\mu P_{k+1}(t) \quad (k \geq n).$$

Ефективність функціонування систем в теорії масового обслуговування визначається не стільки в функції часу, оскільки в стаціонарному режимі, який настає в граничному випадку при $t \rightarrow \infty$, за умови, що такий існує. Визначимо граничне рішення, якщо границі

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_k(t) = P_k$$

існують для довільних значень k . Значення $P_k(t) \leq 1$, тому границі лівих частин в системі диференціальних рівнянь при $t \rightarrow \infty$ дорівнюють нулю при довільному значенні k . Якщо б значення границі $\lim_{t \rightarrow \infty} P'_k(t) \neq 0$, то значення ймовірності $P_k(t)$ необмежено зростало б із збільшенням t , що є неможливим в принципі.

Стаціонарний режим описується системою алгебраїчних рівнянь, яку отримують із системи диференціальних шляхом прирівнювання до нуля всіх похідних за часом

$$0 = -\lambda P_0 + \mu P_1$$

$$0 = \lambda P_{k-1} - (\lambda + k\mu)P_k + (k+1)\mu P_{k+1} \quad (1 \leq k < n)$$

$$0 = \lambda P_{k-1} - (\lambda + n\mu)P_k + n\mu P_{k+1} \quad (k \geq n).$$

ОС в стаціонарному режимі завжди знаходиться в одному із наведених станів і змінює свій стан випадковим чином. Значення ймовірності перебування в даному стані характеризує усереднене значення часу, протягом якого система перебуває у даному стані. Умова нормування визначає, що сумарне значення ймовірностей завжди рівне одиниці

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1,$$

оскільки не передбачено перебування ОС в невизначеному стані. Дана умова дозволяє визначити загальні нормовані характеристики процесу обслуговування в стаціонарному режимі. В інакшому випадку значення характеристик можна отримати з точністю до постійного множника.

Із першого рівняння знаходимо, що

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0.$$

Визначаючи для кожного наступного рівняння нову невідому величину і підставляючи значення невідомих, виражених з попередніх рівнянь, отримуємо

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \quad P_3 = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 P_0 \quad P_4 = \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 4} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4 P_0.$$

В узагальненому випадку для $1 \leq k \leq n$ процесорів

$$P_k = \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0.$$

При $k \geq n$ аналогічним чином визначаємо

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^{k-n} \cdot P_n = \frac{\lambda}{n\mu} \cdot P_{k-1} = \frac{1}{n! \cdot n^{k-n}} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0.$$

Для визначення P_0 із умови нормування $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1$, підставляючи отримані значення P_k , отримуємо

$$P_0 \left[\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \frac{1}{n!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \sum_{k=n}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^{k-n} \right] = 1$$

Сума в дужках зводиться до значення скінченної границі за умови сходимості ряду

$$\sum_{k=n}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^{k-n} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^k,$$

який є сумою членів геометричної прогресії

$$\left[1 + \frac{\lambda}{n\mu} + \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^3 + \dots + \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^k \right],$$

яка існує за умови $\frac{\lambda}{n\mu} < 1$ та визначається залежністю суми членів нескінченно спадаючої геометричної прогресії

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^k = \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{n\mu}} = \frac{n\mu}{n\mu - \lambda}.$$

Підклавши даний вираз із

$$P_0 \left[\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \frac{\mu}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] = 1,$$

отримуємо

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \frac{\mu}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}.$$

Ймовірність того, що всі процесори ОС зайняті, визначається подією появи запиту на обслуговування, коли в системі одночасно перебувають $n, n+1, n+2, \dots$ задач. Оскільки ці події незалежні, то ймовірність того, що всі процесори зайняті, визначається сумарною ймовірністю

$$P_w = \sum_{k=n}^{\infty} P_k = \frac{n^n}{n!} \cdot P_0 \sum_{k=n}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^k.$$

Сума геометричного ряду при $\frac{\lambda}{n\mu} < 1$ визначена вище,

тому за умови $\frac{\lambda}{\mu} < n$ отримуємо

$$P_w = \frac{\mu \cdot P_0}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n.$$

Контрольні запитання для самоперевірки

- 2.1 Навести основні положення оптимізації обслуговування в системах з очікуванням.
- 2.2 Чим описується стан ОС з очікуванням?
- 2.3 За якої умови утворюється черга в системах з очікуванням?
- 2.4 Які стани можуть виникнути в результаті обслуговування системою запитів вхідного потоку задач протягом визначеного інтервалу часу?
- 2.5 Комбінаціями яких умов зумовлено виникнення вказаних станів?
- 2.6 Проаналізувати основні стани, в яких може перебувати ОС з очікуванням.
- 2.7 Як описується стаціонарний режим функціонування ОС?
- 2.8 Що характеризує ймовірність перебування ОС в одному із станів?

Цикл лабораторних робіт № 2

“Розробка багатопроцесорної ОС з очікуваннями”

Увага! При оформленні роботи весь розрахунковий, табличний та графічний матеріал повинен бути обов'язково супроводжений коментарями (поясненнями). Усі скорочення вихідних даних та результуючих параметрів в програмі повинні бути обов'язково розкриті.

Лабораторна робота № 2.1

На базі комплексу методик оптимізації процесів обслуговування в ОС з очікуваннями, що розглянутий в теоретичній частині курсу, оптимізувати вихідні параметри системи згідно індивідуального варіанта завдання та розробити структуру оптимізованої ОС.

Оптимізація вихідних параметрів і розробка системи здійснюється по пунктах згідно наступної послідовності.

1.1 *Задано:* багатопроцесорну ОС із очікуванням без обмеження вхідного потоку задач, що складається із n процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; $\bar{t}_{\text{обс}}$ - середній час обслуговування одним процесором однієї задачі; λ - середня інтенсивність поступлення задач вхідного потоку. P_w - задана ймовірність виникнення в ОС черги.

Необхідно: визначити показник ймовірності виникнення черги $P_{wx}(k > n)$, оцінити ефективність функціонування ОС згідно заданих вихідних умов і внести за необхідності зміни в її архітектуру шляхом погодження кількості процесорів n_x , яка б забезпечила задану ймовірність виникнення черги P_w .

Хід рішення: Визначити, чи вказана кількість процесорів ОС задовольняє обслуговування вхідного потоку задач із заданою інтенсивністю навантаження. Якщо задане число процесорів не задовольняє обслуговування із заданим навантаженням, визначити мінімально необхідну кількість процесорів ОС, що задовольняє задану умову.

Згідно формули визначення ймовірності виникнення черги

$$P_w = \sum_{k=n}^{\infty} P_k = \frac{\mu \cdot P_0}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

побудувати графічну залежність P_w для заданих $\bar{t}_{\text{обс}}$ - середнього часу обслуговування одним процесором однієї задачі, λ - середньої інтенсивності поступлення задач вхідного потоку в функції n - кількості процесорів ОС.

Визначити значення показника ймовірності виникнення черги P_{wx} згідно заданих вихідних умов і показати його на графіку. Вказати на площині залежностей точку ймовірності виникнення черги для заданого значення P_w , для якої визначити необхідну кількість процесорів n_x , що задовольняють комплекс заданих вихідних умов.

1.2 *Задано*: багатопроцесорну ОС із очікуванням без обмеження вхідного потоку задач, що складається із n процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; $\bar{t}_{обс}$ - середній час обслуговування одним процесором однієї задачі; P_w - ймовірність виникнення в ОС черги.

Необхідно: визначити λ_x - середню інтенсивність поступлення задач вхідного потоку, яка б задовольняла якість обслуговування згідно заданих вихідних умов.

Хід рішення: Вказати на площині залежностей точку ймовірності виникнення черги для заданих значень P_w і кількості процесорів n , що задовольняють задані вихідні умови. Для цього за формулою ймовірності виникнення черги

$$P_w = \sum_{k=n}^{\infty} P_k = \frac{\mu \cdot P_0}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

побудувати графічну залежність P_w від λ , яка проходить через задану точку і визначити показник середньої інтенсивності поступлення задач вхідного потоку λ_x для заданого значення середнього часу обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{обс}$.

1.3 *Задано*: багатопроцесорну ОС із очікуванням без обмеження вхідного потоку задач, що складається із n_x процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; P_{wx} - визначена із пункту 1.1 ймовірність виникнення в ОС черги; λ_x - визначена із пункту 1.2 середня інтенсивність поступлення задач вхідного потоку.

Необхідно: визначити середній час обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{обс x}$ при початково

визначеному п.1.1 значенні якості обслуговування - ймовірності виникнення черги P_{wx} .

Хід рішення: Вказати на площині залежностей точку перетину залежностей інтенсивності навантаження та ймовірності виникнення черги для заданого значення кількості процесорів, що задовільняють комплекс заданих вихідних умов. Для цього за формулою ймовірності виникнення черги

$$P_w = \sum_{k=n}^{\infty} P_k = \frac{\mu \cdot P_0}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

побудувати графічну залежність P_w від $\bar{t}_{обс}$, що проходить через задану точку і визначити значення середнього часу обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{обс\ x}$ для заданої середньої інтенсивності поступлення задач вхідного потоку λ_x .

За результатами обчислень заповнити таблицю згідно форми (Таблиця 1)

Таблиця 1

Результати моделювання архітектури ОС

| етап | задано | | | | визначено | | | |
|------|--------|-----------|-----------------|--------|-----------|-------------|--------------------|----------|
| | n | λ | $\bar{t}_{обс}$ | P_w | n_x | λ_x | $\bar{t}_{обс\ x}$ | P_{wx} |
| 1.1 | ЗД | ЗД | ЗД | - | - | - | - | х |
| 1.1+ | - | ЗД | ЗД | ЗД | х | - | - | - |
| 1.2 | ЗД | - | ЗД | ЗД | - | х | - | - |
| 1.3 | ЗД'(х) | ЗД'(х) | - | ЗД'(х) | - | - | х | - |

Високов: охарактеризувати отриманий результат та необхідні чинності по забезпеченню оптимального функціонування ОС із заданими значеннями вихідних параметрів.

Результатом проведених обчислень першого етапу є визначення тільки ймовірнісних показників, що характеризують дисципліну обслуговування запитів власне обчислювальним ядром ОС. Параметр ймовірності зайнятості всіх процесорів системи $P_{k>n}$ є вихідним для визначення часових характеристик ОС, зокрема, середнього

часу очікування початку обслуговування, ймовірності того, що час очікування менший, або перевищує визначений термін тривалості, а також характеристик зайнятості обчислювальних ресурсів - середньої довжини черги та середньої кількості задач, що перебувають в системі. Часові показники в більшій мірі характеризують параметри вхідного накопичувача і є вихідними для визначення його ємності.

Лабораторна робота №2.2

Задано: (згідно попередньої умови) багатопроцесорну ОС із очікуванням, що складається із n (n_x) процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; $\bar{t}_{\text{обс}}$ ($\bar{t}_{\text{обс } x}$) - середній час обслуговування одним процесором однієї задачі; λ - середня інтенсивність поступлення задач вхідного потоку.

Необхідно визначити:

2.1 - ймовірність того, що в системі перебувають точно k задач ($0, \dots, \infty$);

2.2 - значення k_x , для якого ймовірність очікування не перевищує 10^{-6} ;

2.3 - ймовірність того, що всі процесори ОС вільні від обслуговування.

Хід рішення: 2.1, 2.2 За формулами

$$P_k = \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0 \quad \text{для } (1 \leq k \leq n)$$

та

$$P_k = \frac{1}{n! \cdot n^{k-n}} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0 \quad \text{для } (k \geq n),$$

побудувати графічні залежності ймовірності P_k від кількості задач для ОС, що в першому з випадків складається із n процесорів, а в другому - із n_x для середнього часу обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{\text{обс}}$. Провести аналогічні обчислення та побудувати графічні залежності P_k від кількості задач для n і n_x процесорів для значення $\bar{t}_{\text{обс } x}$. Визначити в яких випадках ОС із заданими параметрами не в змозі обслужити вхідний потік задач із заданою інтенсивністю поступлення.

2.3 За формулою показника ймовірності того, що всі процесори вільні від обслуговування

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \frac{\mu}{(n-1)! \cdot (n\mu - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}$$

для обидвох значень кількості процесорів ОС n та n_x визначити значення та побудувати графічні залежності P_0 в функції від $\bar{t}_{\text{обс}}$. Провести аналогічні обчислення та побудувати графічні залежності P_0 від кількості задач для значень середнього часу обслуговування $\bar{t}_{\text{обс}}$ і $\bar{t}_{\text{обс}x}$ в функції від кількості процесорів n ОС. Визначити при яких параметрах обслуговування та вхідного потоку ймовірність P_0 буде рівна нулю.

Висовок: охарактеризувати отримані результати ймовірнісних критеріїв обслуговування ОС із заданими значеннями вихідних параметрів.

Лабораторна робота № 2.3

Задано: (згідно попередньої умови) багатопроцесорну ОС із очікуванням, що складається із n (n_x) процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; $\bar{t}_{\text{обс}}$ - середній час обслуговування одним процесором однієї задачі; λ (λ_x) - середню інтенсивність поступлення задач вхідного потоку.

Необхідно: визначити часові характеристики системи:

3.1 - обчислити значення та побудувати залежність ймовірності того, що час очікування початку обслуговування в черзі більший заданого значення $t_{\text{оч}}$;

3.2 - обчислити значення та побудувати залежність ймовірності того, що час очікування початку обслуговування в черзі менший заданого значення $t_{\text{оч}}$;

3.3 - обчислити значення середнього часу очікування початку обслуговування \bar{G}_n ; визначити та показати на графіку при яких параметрах інтенсивності вхідного потоку та обслуговування значення \bar{G}_n необмежено зростає.

Хід рішення: 3.1 За формулою для обчислення ймовірності того, що час очікування початку обслуговування (час перебування в черзі) G більше t

$$P\{G > t\} = P_w e^{-(n\mu - \lambda)t} \quad \text{для } (t \geq 0),$$

побудувати графічні залежності ймовірності $P\{G > t\}$ для ОС, що в першому з випадків складається із n процесорів, а в другому із n_x для обидвох значень інтенсивності вхідного потоку λ та λ_x в функції параметра часу t . Визначити за якої умови час очікування початку обслуговування буде прямувати до безмежності.

3.2 За формулою визначення ймовірності того, що час очікування початку обслуговування (час перебування в черзі) G менше t

$$P\{G < t\} = 1 - P_w e^{-(n\mu - \lambda)t} \quad \text{для } (t \geq 0),$$

побудувати графічні залежності ймовірності $P\{G < t\}$ для обидвох значень кількості процесорів n та n_x і інтенсивності

потoku λ та λ_x в функції параметра часу t . Визначити за якої умови час очікування початку обслуговування буде прямувати до безмежності.

3.3 Визначити значення середнього часу очікування початку обслуговування при n та n_x процесорах ОС і інтенсивностях вхідного потоку λ та λ_x із залежності

$$\bar{G}_n = P_w / (n\mu - \lambda)$$

та побудувати графіки середнього часу очікування початку обслуговування \bar{G}_n згідно заданих вихідних умов в функції від середнього часу обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{\text{обс}}$.

Провести аналогічні обчислення по визначенню середнього часу очікування початку обслуговування та побудувати графічні залежності \bar{G}_n в функції від кількості процесорів n для значень інтенсивності потоку λ та λ_x . Визначити параметри обслуговування ОС, за яких значення середнього часу очікування початку обслуговування буде прямувати до безмежності.

Висовок: охарактеризувати отримані результати часових параметрів ОС із заданими вихідними значеннями.

Лабораторна робота № 2.4

Задано: (згідно попередньої умови) багатопроцесорну ОС із очікуванням, що складається із n (n_x) процесорів, кожен із яких може одночасно обслуговувати тільки одну задачу вхідного потоку; $\bar{t}_{\text{обс}}$ ($\bar{t}_{\text{обс } x}$) - середній час обслуговування одним процесором однієї задачі; λ - середня інтенсивність поступлення задач вхідного потоку.

Необхідно: визначити наступні середньостатистичні характеристики ОС для кількості процесорів n та n_x і середнього часу обслуговування $\bar{t}_{\text{обс}}$ та $\bar{t}_{\text{обс } x}$:

4.1 - середню довжину черги, що характеризує середню кількість задач, які очікують початку обслуговування;

4.2 - середню кількість задач, що перебувають в системі;

4.3 - середню кількість вільних від обслуговування процесорів ОС.

Хід рішення: 4.1 За формулою обчислення середньої довжини черги

$$M_{\text{чрг}} = \sum_{k=n}^{\infty} (k-n) \cdot P_k = P_n \cdot \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^k = \frac{P_n \cdot \lambda}{n\mu \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{n\mu} \right)^2}$$

визначити математичне очікування кількості задач, що тимчасово перебувають в режимі очікування початку обслуговування у вхідному накопичувачі для n та n_x процесорів ОС. Побудувати графічні залежності середньої довжини черги $M_{\text{чрг}}$ в функції часу обслуговування одним процесором однієї задачі $\bar{t}_{\text{обс}}$. Обчислити середню довжину черги $M_{\text{чрг}}$ для значень середнього часу обслуговування $\bar{t}_{\text{обс}}$ і $\bar{t}_{\text{обс } x}$ та побудувати графічні залежності $M_{\text{чрг}}$ в функції від кількості процесорів n . Визначити параметри обслуговування ОС, за яких значення $M_{\text{чрг}}$ буде прямувати до безмежності.

4.2 Із залежності середньої кількості задач

$$M_{зд} = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_k = M_{цпр} + \frac{n \cdot P_n}{1 - \frac{\lambda}{n\mu}} + P_0 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(k-1)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k$$

визначити математичне очікування кількості задач, що перебувають в ОС (у вхідному накопичувачі в режимі очікування початку обслуговування і в процесорах в фазі обслуговування) для кількості процесорів n та n_x . Побудувати графічні залежності середньої кількості задач $M_{зд}$ в функції часу обслуговування $\bar{t}_{обс}$. Обчислити математичне очікування кількості задач $M_{зд}$, що перебувають в ОС, для значень середнього часу обслуговування $\bar{t}_{обс}$ і $\bar{t}_{обсx}$ та побудувати графічні залежності $M_{зд}$ в функції від кількості процесорів n . Визначити параметри обслуговування ОС, за яких значення $M_{зд}$ буде прямувати до безмежності.

4.3 Визначити середню кількість вільних процесорів системи

$$\bar{N}_0 = \sum_{k=1}^n (n-k) \cdot P_k = \sum_{k=1}^n \frac{n-k}{k!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0.$$

Для ОС із кількістю процесорів n та n_x побудувати графічні залежності середньої кількості вільних процесорів \bar{N}_0 в функції середнього часу обслуговування $\bar{t}_{обс}$. Визначити середню кількість вільних процесорів \bar{N}_0 для значень середнього часу обслуговування $\bar{t}_{обс}$ і $\bar{t}_{обсx}$ та побудувати графічні залежності \bar{N}_0 в функції від кількості процесорів n . Визначити параметри обслуговування ОС, за яких значення \bar{N}_0 буде прямувати до нуля.

Висовок: охарактеризувати отримані результати обчислення середньостатистичних характеристик ОС із заданими вихідними значеннями.

Оптимізація ОС з очікуваннями

Висновки підсумкові, в яких наводиться трактування практично отриманих результатів моделювання системи та підтвердження основних теоретичних положень щодо розробки ОС без обмеження вхідного потоку задач.

Вихідні дані індивідуальних завдань
до виконання циклу лабораторних робіт №2
“Розробка багатопроцесорної ОС з очікуваннями”

| вар-т | $f_{\text{обс}}$ | λ | n | $P_{\text{вх}}$ | n_x | P_w |
|-------|------------------|-----------------|-----|-----------------|-------|-------|
| од.вм | с | с ⁻¹ | | | | |
| 1. | 0,10 | 640 | 65 | 0.846 | 70 | 0.348 |
| 2. | 0,10 | 600 | 61 | 0.841 | 66 | 0.335 |
| 3. | 0,10 | 560 | 57 | 0.835 | 62 | 0.321 |
| 4. | 0,10 | 520 | 53 | 0.829 | 58 | 0.307 |
| 5. | 0,10 | 480 | 49 | 0.823 | 54 | 0.292 |
| 6. | 0,10 | 440 | 45 | 0.815 | 50 | 0.275 |
| 7. | 0,10 | 400 | 41 | 0.807 | 46 | 0.257 |
| 8. | 0,10 | 360 | 37 | 0.797 | 42 | 0.237 |
| 9. | 0,10 | 320 | 33 | 0.785 | 38 | 0.216 |
| 10. | 0,20 | 320 | 66 | 0.714 | 71 | 0.286 |
| 11. | 0,20 | 300 | 62 | 0.705 | 67 | 0.274 |
| 12. | 0,20 | 280 | 58 | 0.696 | 63 | 0.261 |
| 13. | 0,20 | 260 | 54 | 0.687 | 59 | 0.247 |
| 14. | 0,20 | 240 | 50 | 0.676 | 55 | 0.232 |
| 15. | 0,20 | 220 | 46 | 0.664 | 51 | 0.216 |
| 16. | 0,20 | 200 | 42 | 0.65 | 47 | 0.199 |
| 17. | 0,20 | 180 | 38 | 0.634 | 43 | 0.181 |
| 18. | 0,20 | 160 | 34 | 0.616 | 39 | 0.161 |
| 19. | 0,25 | 160 | 67 | 0.6 | 72 | 0.234 |
| 20. | 0,25 | 150 | 63 | 0.59 | 68 | 0.222 |
| 21. | 0,25 | 140 | 59 | 0.579 | 64 | 0.209 |
| 22. | 0,25 | 130 | 55 | 0.566 | 60 | 0.196 |
| 23. | 0,25 | 120 | 51 | 0.553 | 56 | 0.182 |
| 24. | 0,25 | 110 | 47 | 0.538 | 52 | 0.168 |
| 25. | 0,25 | 100 | 43 | 0.521 | 48 | 0.152 |

Продовження додатку 2.1

| вар-т | $\bar{t}_{обс}$ | λ | n | P_{wx} | n_x | P_w |
|-------|-----------------|-----------|-----|----------|-------|-------|
| од.вм | c | c^{-1} | | | | |
| 26. | 0,25 | 90 | 39 | 0.503 | 44 | 0.136 |
| 27. | 0,25 | 80 | 35 | 0.481 | 40 | 0.118 |
| 28. | 0,4 | 160 | 68 | 0.503 | 73 | 0.19 |
| 29. | 0,4 | 150 | 64 | 0.491 | 69 | 0.179 |
| 30. | 0,4 | 140 | 60 | 0.479 | 65 | 0.167 |
| 31. | 0,4 | 130 | 56 | 0.465 | 61 | 0.155 |
| 32. | 0,4 | 120 | 52 | 0.45 | 57 | 0.142 |
| 33. | 0,4 | 110 | 48 | 0.433 | 53 | 0.129 |
| 34. | 0,4 | 100 | 44 | 0.415 | 49 | 0.115 |
| 35. | 0,4 | 90 | 40 | 0.395 | 45 | 0.1 |
| 36. | 0,4 | 80 | 36 | 0.373 | 41 | 0.085 |
| 37. | 0,5 | 128 | 69 | 0.419 | 74 | 0.153 |
| 38. | 0,5 | 120 | 65 | 0.407 | 70 | 0.143 |
| 39. | 0,5 | 112 | 61 | 0.394 | 66 | 0.132 |
| 40. | 0,5 | 108 | 57 | 0.379 | 62 | 0.121 |
| 41. | 0,5 | 96 | 53 | 0.364 | 58 | 0.109 |
| 42. | 0,5 | 88 | 49 | 0.347 | 54 | 0.098 |
| 43. | 0,5 | 80 | 45 | 0.328 | 50 | 0.085 |
| 44. | 0,5 | 72 | 41 | 0.308 | 46 | 0.073 |
| 45. | 0,5 | 64 | 37 | 0.286 | 42 | 0.061 |
| 46. | 0,6 | 50 | 32 | 0.441 | 36 | 0.918 |
| 47. | 0,6 | 55 | 36 | 0.396 | 42 | 1.107 |
| 48. | 0,6 | 60 | 40 | 0.387 | 46 | 0.819 |
| 49. | 0,6 | 65 | 44 | 0.414 | 50 | 0.837 |
| 50. | 0,6 | 70 | 48 | 0.423 | 52 | 0.882 |

Додаток 2.2

Вказівки щодо оформлення звітів виконання лабораторних робіт

Звіти виконання лабораторних робіт оформляються на аркушах формату А4 (297х210 мм) із полями: ліве - 30 мм, праве - 10 мм, верхнє - 25 мм, нижнє - 20мм.

Текст вписується шрифтом TNR-14 обсягом 30 рядків по 60 знаків в кожному рядку.

Рисунки оформляються на графічному полі із масштабною сіткою, оскільки по отриманій графічній залежності здійснюється вибір параметрів оптимізації. Рисунки дозволено розташовувати на окремих листках відразу після посилання на них в тексті.

Порядок розташування матеріалу:

- титульний листок згідно встановлених вимог (додаток 2.3);
- зміст;
- вихідні дані індивідуального завдання;
- розрахунково-графічна частина;
- висновки;
- список літератури.

Міністерство освіти та науки України
Прикарпатський національний університет
ім. Василя Стефаника

Кафедра КНІС

Лабораторна робота № X

з курсу “Архітектура ІС”

Тема: “.....”

Варіант № XX

Викона^в/ла студ. гр. КН(ІСТ)-XX-У
Прізвище, ім’я, по-батькові

Роботу прийняв
проф., докт. техн. наук
Прізвище І.Б.

Допущений до захисту
“.....”.....20XX р.
Рейтингбалів
Оцінка
Підпис

Івано-Франківськ
20XX

Список використаних літературних джерел.

Arazi A., Ben-Jacob E., Yechiali U. Bridging genetic net works and queueing theory, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 332, 2004, 585–616.

Bhat U.N. *An Introduction to Queueing Theory : Modeling and Analysis in Applications*. Publisher: Boston, MA : Birkhäuser Boston : Imprint : Birkhäuser, 2015.

Bhat U.N. *An Introduction to Queueing Theory Modeling and Analysis in Applications*, Birkhäuser, Boston, MA, 2008.

Bocharov P.P., D'Apice C., Pechinkin A.V. *Queueing Theory*. Publisher: Berlin ; Boston : De Gruyter, 2011.

Burzyński J. *Teoria masowej obsługi*. Wyd. AGH Kraków, 1977.

Chydziański A. *Nowe modele kolejkowe dla węzłów sieci pakietowych / Gliwice : Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 2013.*

Cookson N.A., Mather W.H., Danino T., Mondragón- Palomino O., Williams R.J., Tsimring L.S., Hasty J., *Queueing up for enzymatic processing: correlated signaling through coupled degradation*, *Molecular Systems Biology* 7 (2011), 1. [9] A.S. Gibbons, *Model-centered instruction*, *Journal of Structural Learning and Intelligent Systems* 4, 2001, 511–540.

Cooper R.B. *Introduction to queueing theory*. Publisher: Washington, DC : CEEPress Books, 1990.

Czachórski T. *Modele kolejkowe w ocenie efektywności pracy sieci i systemów komputerowych / Gliwice : Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 1999.*

Filipiak J. *Modelling and control of dynamic flows in communication networks*. Publisher: Berlin : Springer-Verlag, 1988.

Filipowicz B. Modelowanie i analiza sieci kolejkowych / 1 st edition. Kraków : Wydawnictwo Poldex, 2005.

Filipowicz B. Modelowanie i analiza sieci kolejkowych / Kraków : Wydawnictwa AGH, 1997.

Gautam N. Analysis of queues : methods and applications. Publisher: Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis, cop. 2012.

Gnedenko B.V., Nowakowski J.J., Fidelis E., Wiśniewski K., Kowalenko I.N., Wstęp do teorii obsługi masowej. Warszawa : BNI Biblioteka Naukowa Inżyniera. Państwowe Wydaw. Naukowe, 1971.

Gniedenko B., Kowalenko N. Wstęp do teorii masowej obsługi. PWN Warszawa, 1971.

Gordon G. The Application of GPSS V to Discrete System Simulation. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. - 1975. - 389 pp.

Gutenbaum J.: Modelowanie matematyczne systemów. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2003.

Harchol-Balter M. Performance modeling and design of computer systems : queueing theory in action. Publisher: New York : Cambridge University Press, 2014.

Hassin R. Rational queueing. Publisher: Boca Raton : Chapman & Hall/CRC, 2016.

Haviv M. Queues : a Course in Queueing Theory. Publication: Queues. Publisher: New York, NY : Springer, 2013.

Haviv M. Queues : a Course in Queueing Theory. Publisher: New York, NY : Springer, 2013.

Hellander A. Stochastic Simulation and Monte Carlo Methods, 2009.

Ivchenko G.I., Kastanov V.A., Kovalenko I.N. Queuing System Theory, Visshaja Shkola, Moscow, 1982.

Joel Z.L., Wei N.W., Louis J., Chuan T.S., Discreteevent simulation of queuing systems, in: Sixth Youth Science Conference, Singapore Ministry of Education, Singapore, 2000, pp. 1–5.

Kałuski J. Symulatory komputerowe systemów obsługi masowej / Poznań : Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej, 2017.

Kempa W.M. Queueing models with limited access to server / Gliwice : Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.

Kempa W.M. Queueing models with limited access to server. Publisher: Gliwice : Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.

Kempa W.M. Queueing systems with batch arrivals / Gliwice : Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2012.

Kendall D.G. Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain, The Annals of Mathematical Statistics 1, 1953, 338–354.

Kiesling T., Krieger T. Efficient parallel queuing system simulation, in: The 38th Conference on Winter Simulation, Winter Simulation Conference, 2006, pp. 1020–1027.

Klimow G.P. Procesy obsługi masowej / Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1979.

König D., Stoyan D. Metody teorii obsługi masowej / Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, cop. 1979.

Koning D., Stoyan D. Metody teorii masowej obsługi. WN-T Warszawa, 1979.

Kopociński B. Zarys teorii odnowy i niezawodności. PWN, Warszawa, 1973.

Koźniewska I., Włodarczyk M. Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi. PWN Warszawa, 1978.

Kurowski W.: Modelowanie i symulacja systemów technicznych. Wydawnictwo WSA. Łomża 2002.

Lee A.M. Applied Queueing Theory. Publisher: London : Macmillan Education, Limited, 2016.

Lee A.M. Applied Queueing Theory. Publisher: London : Macmillan Education, Limited, 2016.

Minkevičius S. On the law of the iterated logarithm in multi-phase queueing systems, Informatica II, 1997, 367–376.

Minkevičius S., Dolgopolas V., Analysis of the law of the iterated logarithm for the idle time of a customer in multiphase queues, Int. J. Pure Appl. Math. 66, 2011, 183–190.

Newell G.F. Applications of Queueing Theory. Springer Science+Business Media B.V. 1982.

Nilsen F.B. Queuing systems: Modeling, analysis and simulation, Department of Informatics, University of Oslo, Oslo, 1998.

Obretenov A., Dimitrov B., Rudzki W. Teoria masowej obsługi : poradnik. Publisher: Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1989.

Obretenow A. Dimitrow B. Teoria masowej obsługi. Poradnik. PWN Warszawa, 1989.

Oniszczyk W. Modele, algorytmy kolejkowe i strategie obsługi w sieciach komputerowych / Białystok : Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2005.

Oniszczyk W.: Metody modelowania. Wydawnictwa Politechniki Białostockiej 1995. Podlaska Biblioteka Cyfrowa.

Palaniammal S. Probability and queueing theory. Publisher: New Delhi : PHI Learning, 2012.

Palaniammal S. Probability and queueing theory. Publisher: New Delhi : PHI Learning, 2012.

Prabhu N.U. Foundations of queueing theory. Publisher: Boston Kluwer 2002

Pugalarasu R. Probability and Queueing Theory. Publisher: Tata McGraw-Hill, 2011.

Queueing theory. Publisher: [Place of publication not identified] : Book On Demand, 2012.

Richard J. Mathar. A Java Math.BigDecimal Implementation of Core Mathematical Functions [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/0908.3030v3> (Дата обращения: 01.12.2019).

Robertazzi T.G. Computer networks and systems : queueing theory and performance evaluation. Publisher: New York : Springer, 2000.

Rozenberg W., Prochorow A. Teoria masowej obsługi. PWE Warszawa, 1972.

Rozenberg W., Prochorow A. Teoria masowej obsługi / Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 1965.

Rusek K. Router interface as a queuing system with correlated service times / AGH University of Science and Technology. Faculty of Computer Science, Electronics and Telecommunications. Kraków, 2016.

Saaty T.L Elements of queueing theory : with applications. Publisher: New York [etc.] : McGraw-Hill Book Company, 1961.

Shortle J.F., Thompson J.M., Gross D., Harris C.M. Fundamentals of queueing theory Publisher: Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2018.

Sztrik J. Finite-source queueing systems and their applications, Formal Methods in Computing 1 (2001), 7–10.

Tikhonenko O. Elementy teorii obsługi masowej / Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Częstochowie. Częstochowa : Wydaw. WSP, 2003.

Tikhonenko O. Modele obsługi masowej w systemach informacyjnych / Warszawa : Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2003.

Tikhonenko O. Modele obsługi masowej w systemach informacyjnych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa, 2003.

Vichr V. Modelowanie procesów masowej obsługi za pomocą teorii kolejek i **metody Monte Carlo** : zastosowanie metod matematycznych w dziedzinie normowania pracy / Warszawa : Instytut Pracy, 1967.

Wolisz A. Wybrane niekonwencjonalne systemy masowej obsługi / Gliwice : Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej, 1982.

Yue. Queueing Theory and Network Applications. Publisher: [Place of publication not identified] Springer International Publishing, 2017.

Żak J. Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz / Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.

Zitek F. Stracony czas : elementy teorii obsługi masowej / Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1974.

Zitek F. Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej. PWN Warszawa, 1973.

Добров Г.М. Наука о науке. - Киев: Наукова думка, 1966. - 270 с.

Киндлер Е. Языки моделирования /пер. с чешского. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 288 с.

Кирпичников А.П. Методы прикладной теории массового обслуживания. Казань, Изд-во Казанского университета, 2011. 200 с.

Кошуняева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач). — Архангельск; САФУ, 2013. — 107 с.

Лаврусъ О. Е., Миронов Ф. С. Теория массового обслуживания. Методические указания, учебная программа и задания для контрольных работ № 1, 2 для студентов заочной формы обучения специальности 071900 “Информационные системы в технике и технологиях” [Электронный ресурс]. — Самара: СамГАПС, 2002. — 38 с.

Логинов А.А., Агафонова Д.А., Лухнев С.Н. Программное обеспечение для расчета показателей эффективности функционирования многоканальной системы массового обслуживания // Молодой ученый. — 2019. — №21. — С. 36-43. — URL <https://moluch.ru/archive/259/59358/> (дата обращения: 01.12.2019).

Логинов А.А., Збандут М.О., Ефремов М.С. Разработка ПО, моделирующего многоканальную систему массового обслуживания. «Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем»: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 5. г. Казань, — НН: ИЦПРОН, 2018, с. 62–64.

Матвеев В.Ф., Ушаков В.Г. Системы массового обслуживания. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 240 с.

Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания: учеб. пособие. - Л.: ВИККИ им.А.Ф.Можайского, 1991. – 111 с.

Рыжиков Ю.И. Машинные методы расчета систем массового обслуживания: учеб. пособие. - Л.: ВИКИ им.А.Ф.Можайского, 1979. - 177 с.

Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами: учеб. пособие. – СПб: Питер, 2001. - 376 с.

Рыжиков Ю.И. Эффективность и эксплуатация программного обеспечения ЭЦВМ: учеб. пособие. - МО СССР, 1985. - 263 с.

Саакян Г. Р. Теория массового обслуживания: Текст лекций. — Шахты: ЮРГУЭС, 2006. — 28 с.

Самаров К.Л. Элементы теории массового обслуживания. Учебно-методическое пособие. — 2009. — 18 с.

Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. - М.: Высшая школа, 1998. - 320 с.

Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: практикум. - М.: Высшая школа, 1999. - 224 с.

Харин Ю.С. и др. Имитационное и статистическое моделирование: учеб. пособие. - Минск: Белорусский гос. ун-т, 1992. - 176 с.

Шемахин Е.Ю. Моделирование многоканальной открытой системы массового обслуживания с ограничениями. Определение аналитических формул // Молодой ученый. — 2015. — №12. — С. 20-27. — URL

М.Л.Петришин, Л.Б.Петришин Архітектура ОС

<https://moluch.ru/archive/92/20226/> (дата обращения: 01.12.2019).

Шемахин Е.Ю., Кирпичников А.П. Моделирование многоканальных открытых систем массового обслуживания с ограничениями в среде Visual Studio 2010, Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18, № 3.

Шемахин Е.Ю., Моделирование СМО открытого типа. ГСЧ, «European research». 2015. № 2(3).

Шемахин Е.Ю., Моделирование СМО открытого типа. Проверка численной модели, «Вестник науки и образования». 2015. № 2(4).

Шмелева А.Г., Ладынин А.И., Бахметьев А.В. Построение взвешенных решений управления сложными производственными системами с применением теории массового обслуживания. Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 6. С. 421–426.

Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1980. - 592 с.

Янбых Г.Ф., Столяров Б.А. Оптимизация информационно-вычислительных сетей. - М.: Радио и связь, 1987. - 232 с.