

УДК 519.872:658.588.8

Смірнов В. В., Клименко О.О.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ТЕОРІЇ МАСОВОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ЩОДО СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ
КОМБІНАТІВ**

Розглянуто альтернативні форми організації робіт з технічного обслуговування і ремонту щодо підвищення конкурентоспроможності ГЗК. Обґрунтовано можливість застосування моделей теорії масового обслуговування для систем технічного обслуговування і ремонту. Запропоновано три моделі, що відповідають кожній з форм організації технічного обслуговування і ремонту ГЗК

There are considered the alternative forms of work's organization of maintenance service and repair of ore dressing group. The opportunity of application of models of the theory of mass service for systems of technical repair and service is argued. Three models are offered which correspond to each of the forms of organization of system of maintenance service and repair at ore dressing group

В умовах здійснюваних урядом України інтеграційних процесів усе більш актуальними стають питання підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних підприємств. Стратегія набуття конкурентних переваг може бути реалізована різними шляхами, найчастіше удаються до зменшення виробничих, збутових та інших видів витрат, що визначають собівартість продукції підприємства. Ефективним важелем зменшення собівартості продукції гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) є вдосконалення процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) технологічного обладнання. На ремонт та утримання обладнання в працездатному стані припадає 90 – 93% капітальних витрат. Питома вага витрат на ремонт та утримання обладнання складає 18 – 20% від собівартості продукції. Крім того, у ремонтній службі зайнято до 30 – 35% загальної чисельності промислового персоналу збагачувальної галузі [1].

Вищенаведені дані відображають типову ситуацію, коли ГЗК виконують операції з ТОіР силами власних ремонтних підрозділів. Проте, існують такі альтернативні варіанти реалізації цих видів робіт, як підряд і аутсорсинг¹. Різниця між аутсорсингом та підрядом полягає у рівнях інтеграції до процесу виробництва. Перше вимагає повної реструктуризації підприємства навколо базового, основного виробництва та перегляду зовнішніх відносин. Підряд відображає додатковий зв'язок «споживач – постачальник». Основна перевага цих підходів щодо організації ТОіР на ГЗК полягає у поліпшенні якості обслуговування та зменшенні основних видів витрат.

Метою статті є обґрунтування застосування моделей теорії масового обслуговування щодо систем технічного обслуговування і ремонту гірничо-збагачувальних комбінатів

Розглянемо організацію системи ТОіР ГЗК з позицій теорії масового обслуговування (ТМО). Структуру системи масового обслуговування (СМО) утворюють два взаємодіючих компоненти: джерела заявок та канали їх обслуговування. У нашому випадку джерело заявок – це технологічні лінії ГЗК, а канали обслуговування змінюються в залежності від форми організації ТОіР. Так, при самостійному виконанні цих робіт каналами обслуговування є ремонтні підрозділи ГЗК, у випадку аутсорсинга – сторонні сервісні організації, а підряд передбачає одночасну участь ремонтних підрозділів ГЗК та сторонніх

¹ Аутсорсинг (англ. outsourcing) – передача сторонній організації непрофільних функцій або частин бізнесу-процесу підприємства

сервісних організацій. У якості заявки виступає необхідність виконання технічного обслуговування і / або ремонту технологічного обладнання.

Аналіз показує, що можливість застосування ТМО для дослідження будь-якої предметної галузі визначається сукупністю таких вимог [2 – 5]:

1. кількість заявок у СМО повинна бути достатньо великою;
2. усі заявки, що надходять у СМО, повинні бути однотипними або зведені до таких;
3. необхідно встановити закони надходження заявок та інтенсивності їх обслуговування;
4. структура СМО повинна бути фіксованою;
5. необхідно виключити з СМО суб'єкти (ремонтний персонал) або розглядати їх як канали з відомою інтенсивністю обслуговування заявок;
6. кількість використовуваних пріоритетів заявок повинна бути мінімальною, а вони мають бути постійними.

Масовість заявок може бути забезпечена за двох умов: періодом роботи та видами обладнання. По-перше, якщо розглядати відмову будь-якої одиниці обладнання технологічних ліній ГЗК як заявку у СМО, то кількість таких заявок має масовий характер, зазвичай, лише при розгляді досить тривалих інтервалів часу. По-друге, масовість заявок спостерігається при розгляді відмов за всіма видами технологічного обладнання ГЗК. Варто зауважити, що продуктивність наявних на ГЗК ремонтних підрозділів, а також їх недостатня оснащеність не завжди дозволяє обслужити усі заявки у прийнятний час із мінімальними витратами. Тим більш умова масовості має місце за одночасним виконанням двох умов і тривалому проміжку часу, і розмаїтості видів обладнання.

Однотипність заявок. Аналіз функціонування системи ТОіР ГЗК показує, що заявки ТОіР надходять у випадкові моменти часу та можуть мати різний ступінь складності, а також різний об'єм, що приводить до випадкового часу їх обслуговування. Тому вимога однотипності заявок може виявитися одною з основних перешкод щодо використання ТМО для аналізу систем ТОіР ГЗК. Для подолання цієї перешкоди заявки класифікують за однотипними видами обладнання та за виконуваними технологічними операціями, а деякими характеристиками зневажають. У загальному випадку невраховані характеристики заявок можуть розглядатися як необхідні ресурси для системи ТОіР. Наявність або відсутність таких ресурсів може впливати на послідовність та час обслуговування. Наприклад, заявкам, для обслуговування яких достатньо ресурсів, може бути призначений високий пріоритет. У процесі роботи СМО пріоритети можуть мінятися динамічно, що є складністю такого підходу. Якщо розглядати заявку як сукупність технологічних операцій, на кожному з яких існує норма, то різноманітні заявки можна представити у вигляді сукупності декількох найпростіших заявок. При цьому кількісний склад таких заявок залежить від технологічної операції та коефіцієнта складності.

Закони надходження заявок та інтенсивності їх обслуговування. У ТМО, в основному, розглядаються пуассоновські потоки заявок [4]. Тому для розширення сфери застосування ТМО використовують різні методи зведення довільних потоків до пуассоновського: Кендалла [3], асимптотичний, диференціальний, інтегральний та інші. Для визначення потоків заявок та інтенсивності їх обслуговування необхідно мати представницькі статистичні вибірки, але на цей час кількості досліджень систем ТОіР ГЗК недостатньо.

Фіксована структура СМО. Для опису системи ТОіР за допомогою ТМО необхідно, щоб вона мала не тільки фіксовану структуру, але й відому послідовність обслуговування заявок. Фіксована послідовність руху заявок не означає повну детермінованість усіх процесів обслуговування. Наприклад, якщо заявка знаходиться в черзі, що обслуговується кількома каналами, процес вибору одного з них для обслуговування заявки стохастичний.

Подання суб'єктів. Ремонтний персонал у СМО можна представити у вигляді каналів із певною інтенсивністю обслуговування заявок. Їх продуктивність визначають із статистичних даних, накопичених за досить тривалий проміжок часу. Складність цього підходу обумовлена наявністю на виробництві нових суб'єктів із невідомою продуктивністю, нерівномірним впливом досвіду працівника на його продуктивність та унікальністю кожного суб'єкта.

Альтернативою визначення інтенсивності обслуговування заявок суб'єктом є використання нормативів. У цьому випадку математична модель буде відповідати "ідеальному" виробництву, де кожен працівник має виконувати певний вид роботи за фіксований час. Аналіз результатів виконання роботи може служити перевіркою адекватності нормативів та оцінкою доцільності їх коригування.

Пріоритети заявок. Використання пріоритетів у системах ТОіР ГЗК необхідне для задавання терміновості заявок, формування загальної черги до каналів, що виконують різні види робіт і т.д. Характерна риса використання пріоритетів – можливість їх динамічної зміни у процесі роботи, тому що заявки мають обслуговуватись протягом визначеного часу, а система – працювати без відмов заявок після їх прийняття до обслуговування.

Розглянемо три моделі СМО, що відповідають трьом підходам до реалізації ТОіР: самостійному виконанню силами ремонтних підрозділів ГЗК, підрядній формі організації робіт та аутсорсингу.

При самостійному виконанні робіт з ТОіР обслуговуванням заявок займається один канал – лише ремонтні підрозділи ГЗК, система містить кінцеву кількість джерел заявок, яка дорівнює кількості задіяного у технологічному процесі обладнання. Тобто, маємо одноканальну замкнуту СМО. Граф станів такої СМО наведено на рис. 1.

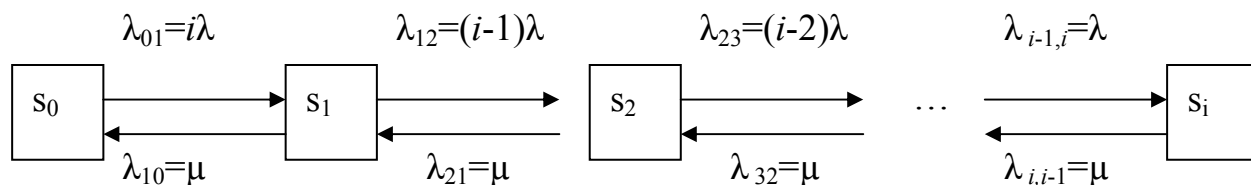


Рис. 1. Граф станів замкнutoї одноканальної СМО [6]

Кожний з джерел заявок СМО може знаходитися в одному з двох станів: активному (подана остання заявка вже обслугована) або пасивному (подана остання заявка ще не обслугована, тобто знаходиться у черзі чи під обслуговуванням). В активному стані джерело може подавати заявки, пасивному – ні. Отже, інтенсивність загального потоку заявок залежить від того, скільки джерел знаходиться у пасивному стані, тобто скільки заявок пов'язано з процесом обслуговування.

Така СМО містить i джерел заявок, кожне з яких породжує найпростіший потік заявок з інтенсивністю λ . Заявка, що надійшла з джерела в момент, коли канал зайнятий, стає в чергу та очікує на обслуговування. При цьому джерело може подати наступну заявку тільки у тому випадку, якщо подана їм попередня заявка вже обслугована. Середній час обслуговування каналом однієї заявки $\overline{T_{os}} = 1/\mu$ де μ – інтенсивність найпростішого потоку обслуговування.

Занумеруємо стани СМО за кількістю джерел, що знаходяться в пасивному стані, тобто за кількістю заявок, що стоять у черзі та під обслуговуванням: s_0 – усі i джерел

знаходяться в активному стані, канал вільний, черги немає; s_1 – одне джерело знаходиться у пасивному стані, канал обслуговує подану цим джерелом заявку, черги немає; s_2 – два джерела знаходяться в пасивному стані, заявка, подана одним з них, обслуговується, а заявка, подана іншим джерелом, стоїть у черзі; ... s_i – усі i джерел знаходяться в пасивному стані, заявка, подана одним з них, обслуговується, а $i-1$ заявок, поданих іншими джерелами, стоять у черзі.

Визначимо щільності ймовірностей переходів СМО за стрілками зліва направо. Із стану s_0 в стан s_1 систему переводить сумарний потік усіх i активних джерел, тому інтенсивність цього сумарного потоку $\lambda_{01} = i\lambda$. Із стану s_1 в стан s_2 система переходить під впливом сумарного потоку вже $i-1$ потоків активних джерел, оскільки одне джерело знаходиться у пасивному стані; отже, $\lambda_{12} = (i-1)\lambda$ і т.д. із стану s_{i-1} в стан s_i переводить лише один потік, породжуваний єдиним джерелом, що знаходиться в активному стані, тому $\lambda_{i-1,i} = \lambda$. Інтенсивності ж потоків, що переводять СМО за стрілками зправа наліво, усі однакові та рівні μ , оскільки весь час працює один канал із інтенсивністю обслуговування μ . Таким чином, $\lambda_k, k-1 = \mu, k = 1, \dots, i$.

У випадку використання підрядної форми організації робіт із ведення ТОВР систему формують не лише ремонтні підрозділи ГЗК, але й сторонні організації, тобто $n > 1$ каналів обслуговування. Заявка, що надійшла до СМО в момент, коли всі n каналів зайняті, стає в чергу та чекає на обслуговування. Будь-яка заявка, що надійшла, буде обслугована. Вхідний потік заявок $\Pi_{вх}$ та потік обслуговувань кожним каналом $\Pi_{об}$ можна розглядати як найпростіші з інтенсивністю λ та μ . Занумеруємо стани СМО за кількістю заявок, що знаходяться у черзі та під обслуговуванням: s_0 – у СМО немає заявок, тобто всі n каналів вільні; s_1 – у СМО одна заявка, тобто зайнятий один канал, інші вільні; ... $s_k (k = 0, 1, \dots, n)$ – k каналів зайняті та немає черги; ... s_n – у СМО n заявок, тобто всі n каналів зайняті, черги немає; s_{n+1} – у СМО $n+1$ заявка, тобто всі n каналів зайняті, одна заявка – в черзі; ... $s_{n+r} (r = 1, 2, \dots)$ – усі n каналів зайняті, в черзі r заявок. Розмічений граф станів багатоканальної СМО з очікуванням подано на рис. 2.

Переходи СМО із одного стану в інший за стрілками зліва направо відбуваються під впливом вхідного потоку $\Pi_{вх}$ заявок із інтенсивністю λ . Тому щільності ймовірностей переходів $\lambda_{k-1,k} = \lambda, k = 1, \dots, n+m$.

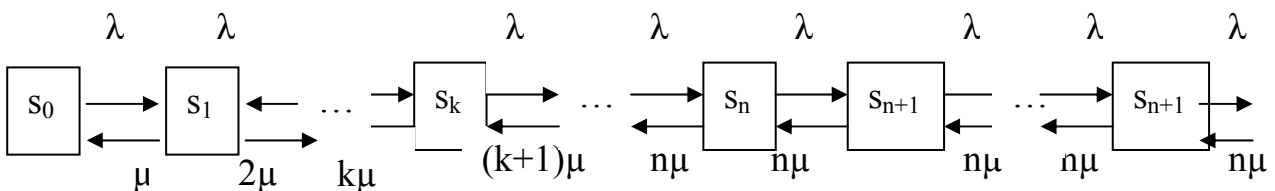


Рис. 2. Граф станів багатоканальної СМО з очікуванням [6]

Якщо система знаходиться у стані, де зайнято $k (1 \leq k \leq n)$ каналів, то її перехід в лівий сусідній стан породжується потоком, що є сумою k потоків обслуговування. Тому інтенсивність цього сумарного потоку дорівнює $k\mu$. Таким чином, щільності ймовірностей переходів СМО за стрілками з права наліво.

$$\lambda_{k,k-1} = \begin{cases} k\mu, & \text{якщо } k = 1, \dots, n; \\ n\mu, & \text{якщо } k = n+1, \dots, n+m \end{cases}$$

При передачі функцій з ТОіР на аутсорсинг система містить кількість каналів, що дорівнює кількості підрозділів організації або окремих компаній, що займаються наданням цих видів послуг. Для забезпечення високої якості послуг стороння сервісна організація негайно приймає до обслуговування заявки, що надійшли, з відповідним перерозподілом заявок за обслуговуючими каналами. Якщо кількість заявок менша або дорівнює кількості каналів, заявка, що надійшла до обслуговування, коли всі канали зайняті, стає в чергу, тобто кожна заявка, що надійшла в СМО, буде обслугована. Це відповідає n -канальній СМО ($n > 2$) з очікуванням, без обмеження на довжину черги та "рівномірною" взаємодопомогою між каналами. Нехай λ – інтенсивність вхідного найпростішого потоку заявок, $\varphi(k) = k\mu$ – функція інтенсивності обслуговування та $n < k_{kp}$; отже, $\varphi(n) = n\mu$.

За цих умов функціонування впливає, що СМО може знаходитися в одному з кінцевої множини станів: s_0 – у СМО немає заявок, усі n каналів вільні, черги немає; s_1 – у СМО одна заявка, яка обслуговується всіма n каналами, черги немає; s_n – у СМО n заявок, кожна з яких обслуговується лише одним каналом, усі n каналів зайняті, черги немає; s_{n+1} – у СМО $n+1$ заявка, n заявок під обслуговуванням, усі n каналів зайняті, одна заявка у черзі. Розмічений граф станів такої СМО наведено на рис. 3.

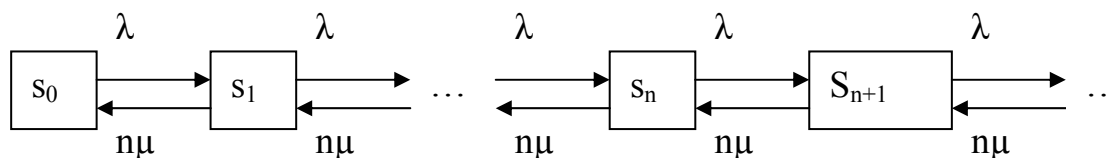


Рис. 3. Граф станів багатоканальної СМО з очікуванням та "рівномірною" взаємодопомогою між каналами [6]

Оскільки довжина черги не обмежена, граничний стаціонарний режим, що протікає в СМО марковського випадкового процесу, буде існувати за умови інтенсивності вхідного потоку λ меншої інтенсивності "потoku обслуговувань" усіма n каналами $n\mu$: $\lambda < n\mu$, отже, показник навантаження системи на один канал $\psi < 1$, оскільки у протилежному випадку черга буде зростати необмежено.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновані види організації робіт з ТОіР на ГЗК відповідають таким СМО: самостійне виконання робіт – одноканальна замкнута СМО; підрядна форма – багатоканальна СМО з очікуванням; аутсорсинг – багатоканальна СМО з очікуванням, без обмеження на довжину черги з "рівномірною" взаємодопомогою між каналами.
2. Ідентифікація розглянутих СМО засобами імітаційного моделювання дозволить проаналізувати характеристики функціонування кожного виду організації робіт з ТОіР для оцінки ефективності та обґрунтування вибору тієї або іншої СМО в залежності від конкретних виробничих умов ГЗК, що є подальшим напрямком дослідження.

Література

1. Гаркушин Ю.К., Смирнов В.В. Надежность и эффективность оборудования углеобогачительных фабрик. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 183 с.
2. Гнеденко Б.Б., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: "Наука", 1966. – 255 с.
3. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. – М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. – 134 с.
4. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. – М.: Высш. школа, 1982. – 256 с.
5. Таха Х. Введение в исследование операций, Кн. 2. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. – 496 с.
6. Лабскер Л.Г., Бабенко Л.О. Теория массового обслуживания в экономической сфере. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 319 с.

Рекомендовано до публікації
д.е.н., проф. Ковальчуком К.Ф. 11.09.06

Надійшла до редакції
04.09.06