

Висновки Проведені дослідження підтвердили те, що потужність сигналу на виході гідрофонів типу (рис. 1б) прямопропорційна інтенсивності акустичних хвиль, яка, в свою чергу, є усередненим значенням інтенсивностей акустичних хвиль в точках вздовж осі гідрофону. Потужність сигналу на виході гідрофонів типу (рис. 1а) відповідає інтенсивності акустичних хвиль в тій локальній області, де розміщено гідрофон (рис. 1а).

Таким чином в технологічних ємностях, де акустичне поле однорідне і відсутні стоячі хвилі можливе використання обох типів гідрофонів. Проте гідрофон (рис. 1б) має обмежене застосування через відносно більші габаритні розміри. В технологічних ємностях, де акустичне поле неоднорідне і наявні стоячі хвилі варто застосовувати гідрофон (рис. 1б).

Список літератури

1. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. – 2-е изд., перераб. и доп / А. Е. Колесников. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248 с., ил.
2. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / М.Г. Сиротюк; [под ред. Л.Д. Розенберга]. – М.: Наука, 1968. – Ч. 5. – С. 168 – 220.
3. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. – М.: ИИЛ., 1957. – 723 с., ил.

УДК 621.865:519.872

Н.Р. Веселовська канд.техн.наук
НТУ України „Київський політехнічний інститут” м.Київ, Україна

ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ ОБСЯГІВ НАКОПИЧУВАЧІВ АГРЕГАТНИХ ЗАСОБІВ В ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

В статье решается задача оптимизации емкостей накопителей агрегатных средств - оборудования гибких интегрированных производственных систем, позволяющая обеспечить заданное время выполнения процесса обработки деталей в системе с учетом произвольных характеристик производительности оборудования.

The article deals with the problem of optimizing storage capacity of aggregate assets - equipment of flexible integrated manufacturing systems, allowing the desired run-time processing of parts in the system, taking into account the performance characteristics of arbitrary equipment.

Вступ. Постановка задачі дослідження. В теперішній час характерною особливістю верстатобудування в промислово розвинутих країнах є випереджаючі темпи зростання виробництва, включаючи верстатні комплекси з ЧПК, обробляючі центри, гнучкі виробничі модулі, при одночасному зменшенні випуску верстатів з ручним керуванням, використання науково ємних, високопродуктивних верстатів в гнучких виробничих системах.

Металообробне обладнання є одним з головних чинників, що визначають розвиток народного господарства країни. Ефективність його використання безпосередньо впливає на виробництво нових машин для всіх галузей промисловості, сільськогосподарства тощо, а це характеризує рівень життя суспільства.

По мірі стабілізації економіки, а у подальшому безсумнівного зростання об'ємів машинобудування в нашій країні, з'явиться зростаючий попит на прецизійні, високоавтоматизовані верстати. Нове обладнання повинно володіти високою точністю, гнучкістю, продуктивністю та надійністю, мати сучасний дизайн, бути максимально безпечним та зручним при роботі та обслуговуванні, мати низький рівень шуму та вібрацій. Разом з тим, обладнання повинно мати низьку вартість, тому слід приймати всі міри щодо зменшення витрат на його виробництво, що вимагає проведення дослідницьких та діагностичних випробувань обладнання. При таких випробуваннях повинна бути перевірена результативність прийнятих рішень на протязі всього життєвого циклу верстату, вказані найбільш ефективні шляхи досягнення потрібного рівня якості, ефективності, надійності та оптимальності і дана гарантія того, що розроблена модель верстата після внесення відповідних виправлень може бути виготовлена.

Слід відмітити, що ці вимоги є протилежними за своєю сутністю і одним з найперспективніших шляхів розв'язання цього протиріччя є застосування гнучких виробничих систем (ГВС). Як показує світовий досвід, використання ГВС дозволяє за рахунок універсалізації обладнання, адаптації його до зміни продукції, що виробляється, швидкого і безболісного налаштування технологічних процесів, зменшити питомі витрати на виробництво одиниці продукції, що випускається.

При організації функціонування гнучких виробничих систем (ГВС) механообробки виникають ряд важливих питань, таких, як маршрутизація руху потоків деталей між агрегатними засобами системи, вибір і оптимізація пропускних спроможностей каналів руху деталей у відповідності до продуктивності агрегатних засобів і норм обробки деталей на обладнанні, узгодження часу обробки деталей матеріального потоку на агрегатних засобах системи при наявності можливості паралельної і послідовної обробки деталей у відповідності до технологічної карти процесу, тощо. В зв'язку з тим, що час обробки деталей на різних агрегатних засобах ГВС різняться між собою і в загальному є випадковою величиною, деякі верстати ГВС можуть простоювати певний відрізок часу, а перед деякими верстатами може виникати черга необроблених деталей, що очікують своєї обробки. Фізично ці черги реалізуються у вигляді бункерних накопичувачів перед агрегатними засобами ГВС. Тому разом з задачами, що наведені вище, при організації функціонування ГВС важливими є задачі, пов'язані з оптимізацією обсягів (розмірів) накопичувачів перед верстатами. Необхідність вирішення цієї задачі викликана вимогою синхронізації руху предметів матеріального потоку в процесі їх обробки на верстатах при умові різної продуктивності технологічного обладнання та тривалості виробничих операцій.

При неправильному виборі ємності накопичувачів можливе або їх перевантаження, що може призвести до значного збільшення часу виготовлення деталей, а отже до зменшення ефективності технологічного процесу, або надмірній витраті виробничих площ і коштів. Тому задача оптимізації ємності накопичувачів агрегатних засобів ГВС з розвинутою структурою є актуальною.

Якщо структура ГВС включає в себе декілька одиниць однакових верстатів (з точки зору можливості

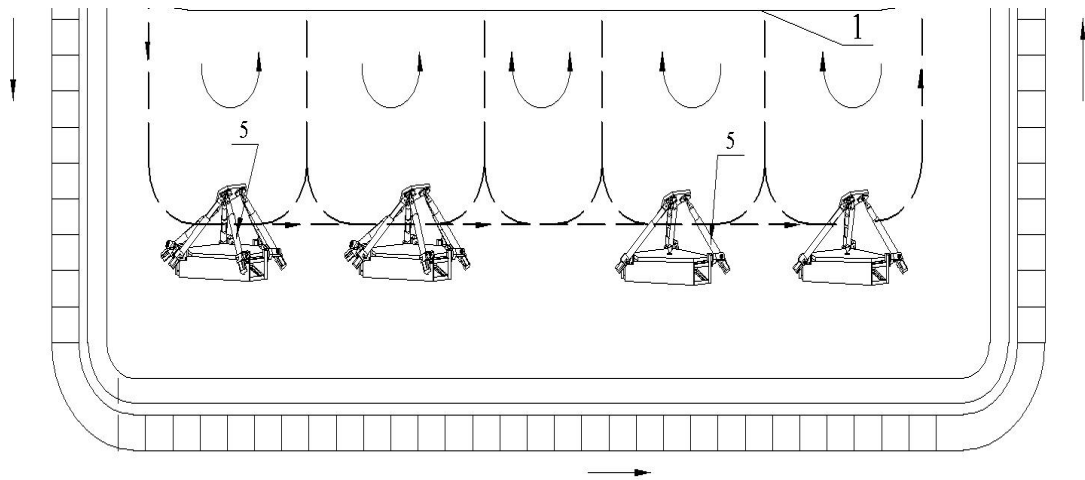


Рис. 1. Організаційно-структурна схема виробничої системи

реалізації однакових технологічних операцій) і в ній допускаються альтернативні маршрути обробки деталей в технологічному процесі (рис. 1.), то топологія такої системи може бути представлена у вигляді мережі систем масового обслуговування (СМО).

Якщо топологію ГВС представити у вигляді графу, то дуги графу системи будуть являти собою технологічні операції, що виконуються на верстатах (агрегатних засобах - АЗ), а вершини – накопичувачі обмеженої ємності, в яких деталь очікує початку обробки на певній операції.

Ставиться задача розробити модель такої системи, яка дозволить оптимізувати розміри накопичувачів агрегатних засобів ГВС при дотриманні вимог до досягнення потрібного значення показника ефективності процесу.

Основні результати дослідження. Розглядаючи граф системи як мережу систем масового обслуговування [1, 2], стає зрозумілим, що i -й вершині графу потрібно приписати числову ознаку λ_i , що означає інтенсивність матеріального потоку деталей, що надходить на i -й верстат ГВС, а кожній дузі графу потрібно приписати дві характеристики - λ_{ij} , що означає інтенсивність потоку деталей по маршруту від AZ_i до AZ_j після обробки їх на AZ_i , та μ_{ij} - інтенсивність обробки деталей на AZ_i , які направляються по маршруту від AZ_i до AZ_j .

В багатьох фундаментальних дослідженнях досліджені деякі основні задачі, що виникають на мережах СМО. Зокрема в [3] досліджені задачі вибору пропускних можливостей елементів мережі (стосовно ГВС цю задачу можна інтерпретувати як задачу вибору продуктивності обладнання), та маршрутизації потоків на мережі. Але задачі, яка є предметом даної роботи, достатньо уваги не приділялось.

На рис.2 представлено гіпотетичний фрагмент топології ГВС, на прикладі якої нами буде сформульований підхід до побудови шуканої моделі.

Матеріальний потік – заготовки, що передаються з АЗ1 до АЗ4, можуть бути оброблені трьома шляхами: АЗ1-АЗ2-АЗ4, АЗ1-АЗ3-АЗ4, АЗ1-АЗ3-АЗ2-АЗ4, а від агрегатних засобів АЗ4 двома шляхами: АЗ3-АЗ4 та АЗ3-АЗ2-АЗ4. Таким чином в проміжкових компонентах системи існують альтернативні варіанти вибору доставки доставки параметрів матеріального потоку (ресурсів). Процес прийняття рішення [4, 5], щодо вибору напрямку проходження деталей в процесі обробки відповідає алгоритмам, що реалізуються у системі [6, 7].

На сьогоднішній день існує велика кількість процедур маршрутизації матеріального потоку, що використовуються в розподілених системах і класифікувати їх можна по багатьом ознакам. Найважливішою ознакою

є їх детермінованість у часі. За цією ознакою всі процедури підрозділяються на статичні та динамічні. Складовою частиною динамічної процедури є адаптивні процедури вибору напрямку, які найбільш інтенсивно досліджуються.

Метою будь-якої адаптивної процедури є визначення такого напрямку предметів матеріального потоку по агрегатним засобам ГВС, щоб забезпечити будь-який критерій якості та надійності обробки. В процесі вибору напрямку в компоненті системи відбувається перерозподіл предметів матеріального потоку, що впливає на характеристики використання буферних накопичувачів агрегатних засобів. Тоді можливий такий розподіл матеріального потоку, при якому довжина черг матеріальних потоків в компонентах системи будуть мінімальними, а сукупний час проходження всіх технологічних операцій, що вимірюється, не перевищує заданого значення \bar{T}_{dz} .

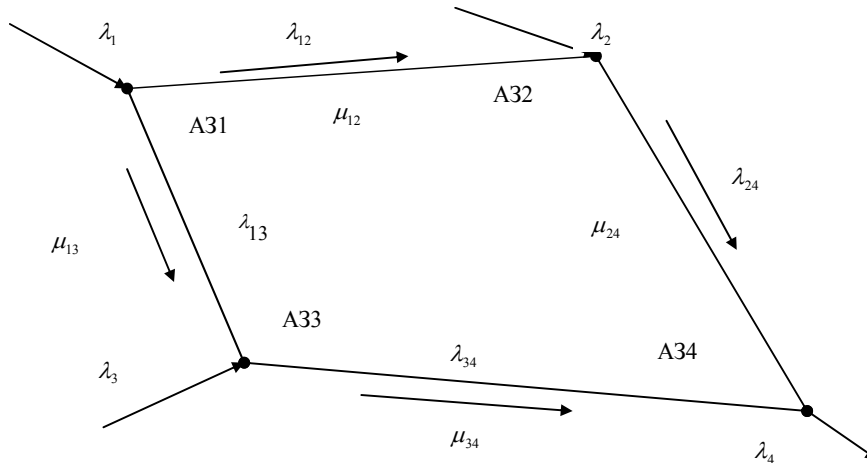


Рис. 2. Приклад графу ділянки розподіленої ГВС з розгалуженою топологією

Припустимо, що розподілена система складається з N агрегатних засобів (рис. 2), які об'єднані між собою M технологічними маршрутами (каналами). Нехай потоки деталей, що передаються по системі, являють собою випадкові величини, які розподіляються згідно Пуасонівського закону, при цьому інтенсивність потоку направлено від AZ_i до AZ_j дорівнює λ_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, N$). Припустимо, що час обробки деталей розподіляється за експоненціальним законом з параметрами $\mu_{i,j}$ ($i, j = 1, 2, \dots, N$). Ці припущення є досить реалістичними з точки зору того, що по перше, більшість досліджених виробничих потоків дійсно є випадковими величинами, розподіленими по такому закону, по друге, такий режим є найбільш «навантаженим» для системи і, таким чином, дає найгірші, критичні оцінки режимів роботи системи. Необхідно побудувати процедуру вибору напрямку передачі предметів матеріального потоку по агрегатним засобам ГВС, мінімізуючи черги деталей в компонентах системи таким чином, щоб середній час \bar{T}_{dz} проходження всього технологічного процесу не перевищив заданого значення. Вирішення поставленої задачі будемо проводити у відповідності до підходу, запропонованому в роботі [5]. Враховуючі всі припущення зазначені вище, канали передачі предметів матеріального потоку представимо у вигляді СМО $M/M/1$, а всі компоненти системи, як накопичувачі. Тоді середня кількість деталей, які очікують обробки в накопичувачі компонента AZ_i дорівнює [1, 2]

$$\bar{n}_i = \sum_{k=1}^{K_i} \frac{\lambda_{ik}}{\mu_{ik} - \lambda_{ik}}, \quad (1)$$

де K_i - кількість каналів, що надходять до AZ_i .

Середня кількість деталей, що знаходяться в будь-який момент часу в системі, може бути визначена сумою величин \bar{n}_i за всіма компонентами системи

$$\bar{n} = \sum_{l=1}^N \bar{n}_l = \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^{K_l} \frac{\lambda_{lk}}{\mu_{lk} - \lambda_{lk}}. \quad (2)$$

Використовуючи методи теорії масового обслуговування, середній час доставки предметів матеріального потоку від джерела до адресату за напрямком m може бути визначений за допомогою формули

$$\bar{T}_{av}^m = \sum_{(i,j) \in S_{av}^m} \left[\frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}(\mu_{ij} - \lambda_{ij})} + \frac{1}{\mu_{ij}} \right] = \sum_{(i,j) \in S_{av}^m} \left[\frac{1}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}} \right], \quad (3)$$

де сумування буде проводитися по всім ділянкам напрямку m . Таким чином задача оптимізації розмірів накопичувачів агрегатних засобів розподіленої системи зводиться до мінімізації (2) при існуванні обмежень (3). Ця задача може бути представлена у вигляді (4).

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^{K_l} \frac{\lambda_{lk}}{\mu_{ik} - \lambda_{lk}}, \text{ при} \\ \sum_{(i,j) \in S_{av}^1} \left[\frac{1}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}} \right] \leq \bar{T} dz, \\ \dots, \\ \sum_{(i,j) \in S_{av}^m} \left[\frac{1}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}} \right] \leq \bar{T} dz, \\ \dots, \\ \sum_{(i,j) \in S_{av}^D} \left[\frac{1}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}} \right] \leq \bar{T} dz. \end{array} \right. \quad (4)$$

де D – кількість альтернативних шляхів передачі матеріального потоку.

Задача (4) відноситься до класу задач нелінійної умовної оптимізації, так як цільова функція (2) має нелінійний вигляд. Для вирішення поставленої задачі найкраще використовувати метод невизначених множників Лагранжа.

Для цього спочатку необхідно представити λ_{ij} через відомі інтенсивності сумарних потоків λ_{ic} , які будуть поступати на i -ий АЗ

$$\lambda_{ij} = r_{ij} \cdot \lambda_{ic}, \quad (5)$$

де r_{ij} - коефіцієнт, що вказує на частку матеріального потоку від AZ_i до AZ_j .

Необхідно зазначити, що ці невідомі коефіцієнти володіють так званою властивістю нормування $\sum_{j=1}^K r_{ij} = 1$, однак не

включають в себе імовірнісного змісту, так як їх значення визначає частку потоку, що передається у визначеному напрямку.

Підставивши (5) у (4) можна сформулювати функцію Лагранжа

$$\Phi(R, B) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{K_j} \frac{r_{ij} \cdot \lambda_i}{\mu_{ij} - r_{ij} \cdot \lambda_i} + \sum_{m=1}^D \beta_{av}^m \left[\sum_{(i,j) \in S_{av}^m} \frac{1}{\mu_{ij} - r_{ij} \cdot \lambda_i} - \bar{T} dz \right], \quad (6)$$

де β_{av}^m - невизначені множники Лагранжа; R – вектор коефіцієнтів r_{ij}^* , що визначаються; B – вектор значень

невизначених множників Лагранжа β_{av}^m .

Оптимальні значення коефіцієнтів r_{ij}^* визначаються рішенням такої системи рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi(R, B)}{\partial r_{ij}} = 0, \\ \dots, \\ \frac{\partial \Phi(R, B)}{\partial \beta_{av}^m} = 0. \end{array} \right. \quad (7)$$

За допомогою програмного забезпечення проводиться вирішення системи нелінійних алгебраїчних рівнянь (7). При цьому оптимальне значення коефіцієнта маршруту r_{ij} визначається як функція

$$r_{ij}^* = f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N, t). \quad (8)$$

Визначивши значення інтенсивностей потоків інформації λ_i , які поступають до системи і підставивши їх до (8), можлива організація адаптивного перерозподілу матеріальних потоків в розподіленій системі. Найбільша трудність при вирішенні такої задачі це аналітичне представлення системи рівнянь (7). Наприклад для ділянки системи, яка представлена рис.4 можна записати так

$$\begin{aligned} \lambda_{12} &= r_{12} \cdot \lambda_1; \\ \lambda_{13} &= r_{13} \cdot \lambda_1; \\ \lambda_{32} &= r_{32} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1); \\ \lambda_{34} &= r_{34} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1); \\ \lambda_{24} &= \lambda_2 + r_{21} \cdot \lambda_1 + r_{23} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1). \end{aligned} \quad (9)$$

Як вже було зазначено, що заготовки, що передаються з А31 до А34, можуть бути доставлені до верстатів трьома шляхами: А31-А32-А34, А31-А33-А34, А31-А33-А32-А34. Таким чином відповідний час доставки \bar{T}^m буде дорівнювати av для кожного окремо:

$$\begin{aligned} 1) \bar{T}_{14}^1 &= \frac{1}{\mu_{12} - \lambda_{12}} + \frac{1}{\mu_{24} - \lambda_{24}} = \frac{1}{\mu_{12} - r_{12} \cdot \lambda_1} + \\ &+ \frac{1}{\mu_{24} - \lambda_2 - r_{21} \cdot \lambda_1 - r_{23} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1)}; \\ 2) \bar{T}_{14}^2 &= \frac{1}{\mu_{13} - \lambda_{13}} + \frac{1}{\mu_{34} - \lambda_{34}} = \frac{1}{\mu_{13} - r_{13} \cdot \lambda_1} + \frac{1}{\mu_{34} - r_{34} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1)}; \\ 3) \bar{T}_{14}^3 &= \frac{1}{\mu_{13} - \lambda_{13}} + \frac{1}{\mu_{32} - \lambda_{32}} + \frac{1}{\mu_{24} - \lambda_{24}} = \frac{1}{\mu_{13} - r_{13} \cdot \lambda_1} + \\ &+ \frac{1}{\mu_{32} - r_{32} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1)} + \frac{1}{\mu_{24} - \lambda_2 - r_{21} \cdot \lambda_1 - r_{23} \cdot (\lambda_3 + r_{31} \cdot \lambda_1)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Аналогічно складаються рівняння для інших маршрутів. Підставивши в ліву частину цих рівнянь значення \bar{T}_{dz} , отримаємо аналітичний запис обмежень, які входять в систему (4). Записавши після цього вирази для цільової функції (2) можна скласти та вирішити систему рівнянь (7), а також визначити оптимальне значення коефіцієнтів r_{ij}^* , а також функціональну залежність у вигляді (8).

Висновок. Запропонований в статті підхід дозволяє створити та аналітично записати математичну модель оптимізації ємностей накопичувачів агрегатних засобів ГВС будь-якої топології. Принципових ускладнень побудови моделі при цьому бути не може, тому що всі рівняння системи обмежень задачі є однотиповими. Чисельний розв'язок рівнянь може бути проведений за допомогою пакетів прикладного програмного забезпечення. Слід зауважити, що отримані чисельні значення розв'язку задачі мають граничний характер, тому що на практиці основні технологічні операції по обробці деталей на верстатах ГВС мають фіксований час, а отже нижньою граничною оцінкою ємностей бункерних накопичувачів буде розв'язок задачі, отриманий якщо вузли мережі (агрегатні засоби) представити у вигляді СМО типу $M/D/1$. Сформульований в статті підхід може бути корисним при оптимізації технологічних систем обмеженої пропускної спроможності, які мають розгалужену топологічну структуру та можливість альтернативних шляхів руху предметів матеріального потоку.

Список літератури

1. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее применения/Под ред. И.Н.Коваленко- М: Сов.радио, 1971- 520с
2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями/Под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
3. Роботко С.Ф. Анализ протокола маршрутизации в ВС с конечными объемами буферной памяти//Всес.семинар «Оптимизация сложных систем».Тез. доклада, секция I.- Винница, 1983. С.132-133.
4. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем - М: Машиностроение, 1990- 312
5. Іскович-Логоцький Р.Д., Веселовська Н.Р. Система підтримки прийняття рішень при проектуванні процесів обробки на технологічному обладнанні ТДТУ ім.Івана Пулюя, Вісник Тернопільського державного технічного університету- №2–Том 10- 2005– 61-67
6. В.Б.Струтинський, Н.Р.Веселовська. Технологія моделювання динамічних процесів та систем. Монографія.- Вінниця:О.Власюк, 2007.-466с.Іл.:272.Табл.:4.Бібліогр.115 назв.
7. Веселовська Н.Р., Струтинський В.Б., Зелінська О.В. Перспективи розвитку гнучких комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем "Наукові нотатки": Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"), Луцьк: Луцький державний технічний університет.-Випуск № 25, частина 1.- 2009.-С.53-64.

УДК 531.391+539.4:622.673

С.Є. Блохін д-р техн.наук, Д.Л. Колосов канд.техн.наук
Національний гірничий університет, м.Київ, Україна

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛОСКОГО ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА В ПРИЧІПНОМУ ПРИСТРОЇ ШАХТНОЇ ПІДЙІМАЛЬНОЇ МАШИНИ

Рассмотрены вопросы, связанные с особенностями конструкции прицепных устройств, приемлемых для плоских резиновых тяговых органов; исследована математическая модель напряженного состояния резинового каната в прицепном устройстве.

The article deals with issues, related to the features of the construction of connecting appliances, suitable for flat rubber-lined ropes; a mathematical model of the stress-deformed state of rubber-lined rope in the connecting appliance is investigated.

Актуальність роботи. Найбільш істотними технічними параметрами для розрахунку параметрів і конструкцій гумотросових канатів для шахтних підйімальних установок є надійність та підвищений термін експлуатації, а також економічний ефект від їх впровадження. Внаслідок цього робота, присвячена встановленню умов взаємодії каната з елементами машини, розробці вимог та методу розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) гумотросового каната шахтної підйімальної машини на ділянках, де мають місце значні контактні та зсувні напруження циклічного характеру та великі деформації гуми, є актуальною.

Сучасний стан питання. Причіпні пристрої забезпечують з'єднання каната, включаючи і головного, із посудиною. Таке функціональне призначення пристрою, його розташування в єдиній системі підвішування вантажу накладає на причіпні пристрої особливі умови по його міцності і надійності. Проведені раніше дослідження [1] присвячені розробці нової математичної моделі і дослідженню напружено-деформованого стану плоского гумотросового каната на барабані шахтної підйімальної машини. Були встановлені закономірності розподілу напружень у канаті при його згині на ведучому шківі тертя шахтної підйімальної машини й у періоди її зупинення (без урахування сил тертя); обґрунтовані конструктивні параметри оболонки канатів. Подальше дослідження напруженого стану каната в причіпних пристроях необхідно для обґрунтування норм експлуатації канатів.

Мета досліджень – розробка теорії та методу розрахунку напруженого стану каната в причіпних пристроях вантажних посудин для підвищення термінів експлуатації канатів великої одиної довжини.

Для досягнення вказаної мети розв'язуються наступні наукові завдання:

1. Обґрунтування методу розрахунку напружено-деформованого стану гумотросових підйімних та тягових канатів на ділянках їх взаємодії з причіпними пристроями посудин для застосування їх як головних на шахтних підйімальних машинах.

2. Створення математичної моделі напружено-деформованого стану гумотросового каната в місці приєднання до підйімальної посудини підйімальної машини.