

УДК 621.837.3

к.т.н. Алтухов В. М.  
(ДонДТУ, м. Лисичанськ, Україна)

### НОВІ ПРИНЦИПИ СИЛОВОГО РОЗРАХУНКУ МЕХАНІЗМІВ З ПОСТУПАЛЬНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ ПАРАМИ

Запропоновано нові принципи силового розрахунку механізмів з поступальними кінематичними парами. Реакцію в поступальній кінематичній парі у загальному випадку можна привести до сили і моменту, при чому точка прикладання сили – невідома. З урахуванням розкладання моменту на пару сил, в загальному випадку, реакція в поступальній парі приводиться до двох сил, спрямованих в одну сторону, або в різні сторони. Таким чином, проведено обґрунтування подання реакції в поступальній кінематичній парі у вигляді двох сил, при заданих точках прикладання.

**Ключові слова:** поступальна кінематична пара, реакція, сила, момент, механізм, розрахунок, точка прикладання, силовий аналіз, ланка, група Ассура, міцність.

#### Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.

У металургійній, гірничій, будівельній промисловості, в машинобудуванні широко застосовуються машини і механізми з використанням поступальних кінематичних пар V класу.

При проектуванні машин і механізмів для динамічних, енергетичних і міцнісних розрахунків необхідно знати як зовнішні сили і моменти, що діють на її ланки, так і внутрішні силові фактори, що діють в кінематичних парах. Актуальною є проблема чіткого і логічного підходу до проведення силового аналізу механізмів з поступальними кінематичними парами.

При цьому в загальноприйнятих методах розрахунку механізмів з поступальними кінематичними парами присутні істотні недоліки, які призводять до неправильних

результатів при розрахунку плоских механізмів, що дає велику ймовірність аварійного виходу машини (механізму) з ладу і знижує конкурентність вітчизняної продукції на світовому ринку.

Силовий (кінетостатичний) аналіз механізмів був об'єктом вивчення багатьох дослідників [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Було встановлено [1, 2, 3, 4, 5], що в поступальній парі V класу реакція перпендикулярна до осі руху однієї ланки щодо іншої. Вона відома за напрямом, але невідома її точка прикладання і величина.

Однак, така думка не буде правильною, бо можливі випадки, коли сумарна реакція, перпендикулярна до осі руху однієї ланки щодо іншої, дорівнює нулю, але, при цьому, з боку однієї ланки на іншу діє реактивний момент  $M_{ij}$ , як показано на рисунку 1.

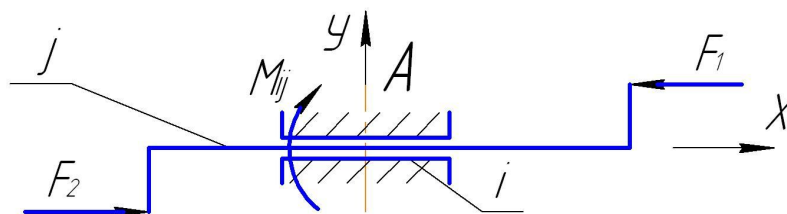


Рисунок 1 - Розрахункова схема з діючим у поступальній парі реактивним моментом  $M_{ij}$

Відзначимо також, що, у загальному випадку, в поступальній кінематичній парі діє і реакція, перпендикулярна направляючої, і реактивний момент.

У роботі [6] зазначається, що в поступальній кінематичній парі, зв'язки, накладені на відносний рух ланок, забороняють відносний поступальний рух по осі  $y$  і від-

носне обертання. Замінивши ці зв'язки реакціями, отримали реакцію  $F_{ij}$  і реактивний момент  $M_{ij}$ , що показано на рисунку 2. При цьому відомі [6]: точка прикладання сили – геометричний центр кінематичної пари  $A$ ; напрям – нормаль до контактуючих поверхонь ланок.

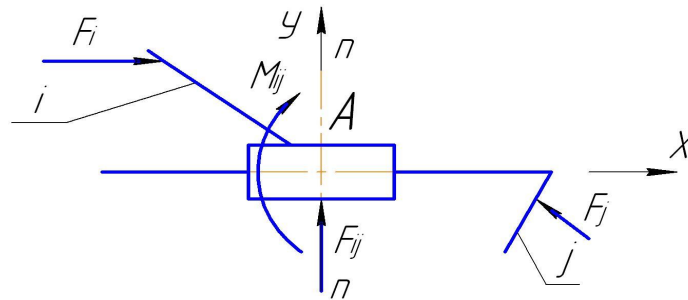


Рисунок 2 – Розрахункова схема зусиль в поступальній парі [6]

Однак, потрібно відзначити, що такий принцип розрахунку буде неправильним, тому що, у загальному випадку, буде спостерігатися прикладання реакції не в геометричному центрі поступальної кінематичної пари, а в інших точках. Геометричний центр поступальної кінематичної пари може бути точкою прикладання реакції тільки в окремому випадку, при цьому, це не можна встановити до початку силових розрахунків. Такий результат може бути встановлений тільки після закінчення розрахунків, причому тільки в окремих випадках. В інших же випадках результати розрахунку за методикою [6] будуть помилковими.

#### Постановка задачі.

Метою роботи є проведення досліджень силового аналізу механізмів з поступальними кінематичними парами, розробка нових принципів розрахунку, що дозволить отримати правильні результати силового розрахунку.

#### Виклад матеріалу і його результати.

В поступальній кінематичній парі, замінивши зв'язки, які забороняють відносний поступальний рух по осі  $y$  і відносно обертання, отримаємо реакцію  $F_{ij}$  (вона відома

за напрямом, але невідома її точка прикладання і величина; напрям – нормаль до контактуючих поверхонь ланок) і реактивний момент  $M_{ij}$ , причому вони взаємопов'язані між собою. Підкреслимо, що мова йде про вплив однієї ланки на іншу.

З теоретичної механіки відомо, що, якщо на ланку діє реакція  $F_{ij1}$  і реактивний момент  $M_{ij1}$ , то при перенесенні лінії дії реакції  $F_{ij1}$  на відстань  $L$ , реактивний момент зміниться і дорівнюватиме:

$$M_{ij2} = M_{ij1} \pm F_{ij1} \cdot L.$$

Оскільки заздалегідь невідома точка докладання реакції  $F_{ij}$ , то невідомими будуть три параметра: величина реакції  $F_{ij}$ , величина реактивного моменту  $M_{ij}$ , точка докладання реакції  $F_{ij}$ .

Для того, щоб група Ассур II класу стала статично визначною, потрібно, щоб у реакції в поступальній кінематичній парі було два невідомих параметра, а не три, як вказано вище.

Якщо задати точку прикладання реакції  $F_{ij}$ , то група Ассур II класу стане статично визначною. Найбільш зручно (спрощуються подальші розрахунки) задавати точку

прикладання реакції в місці безпосереднього контакту ланок. Наприклад, прийняти точку прикладання реакції на відстані, рівному половині довжини повзуна, від геометричного центру кінематичної пари.

Якщо точка докладання реакції буде прийнята інша, то величина реактивного моменту – також буде іншою.

Покажемо, як визначити  $F_{ij}$  і  $M_{ij}$  при силовому аналізі групи Ассура (рис. 3).

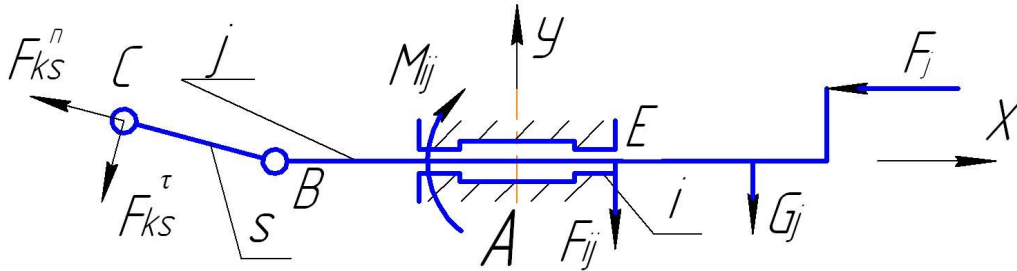


Рисунок 3 – Група Ассура з поступальною кінематичною парою

Складаємо рівняння і показуємо, які параметри знаходимо.

$$\begin{aligned} \sum M_B^s &= 0; \Rightarrow F_{ks}^\tau = \dots; \\ \sum \bar{F}^{(s+j)} &= 0; \Rightarrow F_{ks}^n = \dots; F_{ij} = \dots; \\ \sum M_B^j &= 0; \Rightarrow M_{ij} = \dots \end{aligned}$$

На рисунках 4а; 4б показано, як для двох можливих варіантів відносного розташування реакції  $F_{ij}$  і реактивного моменту  $M_{ij}$  проводиться подальший розрахунок.

Після розкладання реактивного моменту на пару сил  $F_M$ , вплив з боку однієї ланки на іншу в поступальній кінематичній парі в загальному випадку зводиться до двох сил, точками прикладання яких є торці кінематичної пари. Ці сили спрямовані будуть: або в один бік або в різні боки.  $F_R$  – рівнодіюча двох сил:  $F_M$  і  $F_{ij}$ . Ці дві сили ( $F_R$  і  $F_M$ ) можна використовувати для проведення розрахунків на міцність.

Таким чином, реакцію в поступальній кінематичній парі можливо представити у вигляді двох сил  $F_R$  і  $F_M$ , у яких відома точка прикладання та напрям, але невідома - величина.

На рисунках 5а, 5б показано, як проводиться розрахунок реакції у поступальній кінематичній парі, коли розкладка реактивного моменту  $M_{ij}$  на пару сил  $F_{MB}$  і  $F_{MC}$ , а також реакції  $F_{ij}$  на дві складові  $F_{ijB}$  і  $F_{ijC}$ , в сумі даватимуть реакції, прикладені, відповідно в точках В і С.

На рисунку 5 реакція в поступальній кінематичній парі у кінцевому вигляді представлена у вигляді двох сил  $F_B$  і  $F_C$ , у яких відома точка прикладання та напрям, але невідома - величина. Ці дві сили можна використовувати для проведення розрахунків на міцність.

Таким чином, на рисунках 4 і 5 були представлені можливі варіанти розташування реакції в поступальній кінематичній парі.

Звернемо увагу на те, що реакція  $F_{ij}$  для подальших обчислень була розкладена на дві складові, що дозволило провести їх складання з реакціями, отриманими при розкладці реактивного моменту  $M_{ij}$  на пару сил.

На рисунку 6 наведена група Ассура з поступальною кінематичною парою, де дія реакції  $F_{ij}$  і реактивного моменту  $M_{ij}$  виражена у вигляді двох сил  $F_B$  і  $F_C$ .

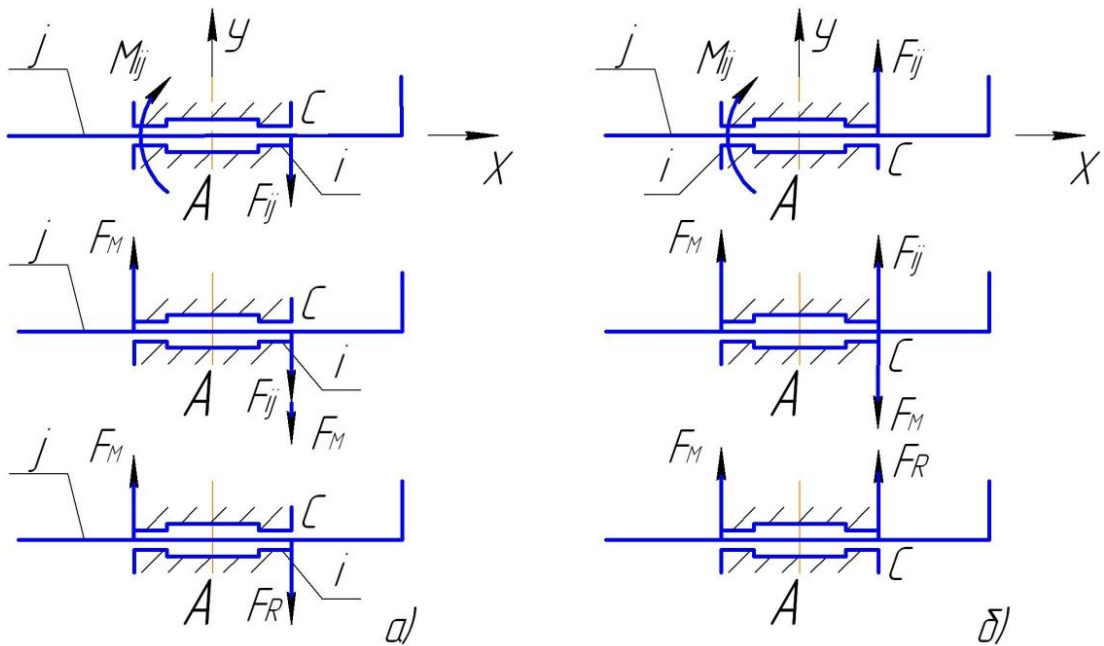


Рисунок 4 – Схеми розрахунку для різних варіантів розташування реакції  $F_{ij}$  і реактивного моменту  $M_{ij}$

- а) дві сили  $F_R$  і  $F_M$  спрямовані в один бік;
- б) дві сили  $F_R$  і  $F_M$  спрямовані в різні боки

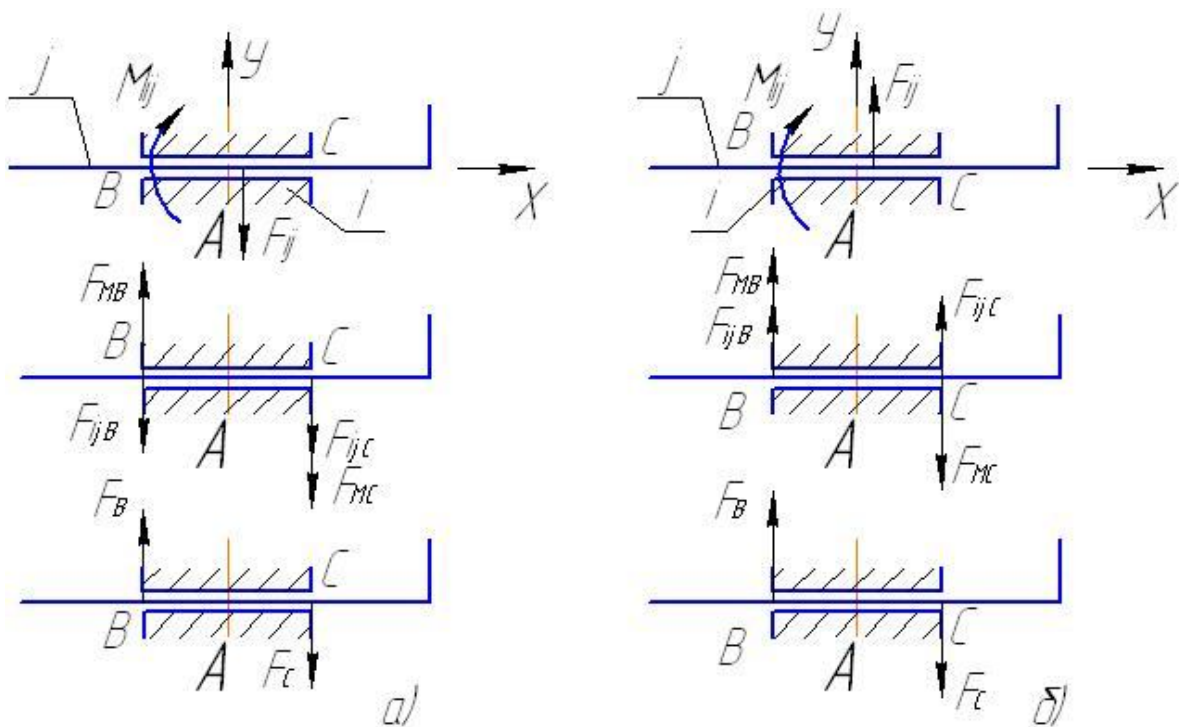


Рисунок 5 – Схеми для варіантів розрахунку реакції у кінематичній парі

- а) дві сили  $F_B$  і  $F_C$  спрямовані в один бік,  $F_B < F_C$ ;
- б) дві сили  $F_B$  і  $F_C$  спрямовані в один бік,  $F_B > F_C$

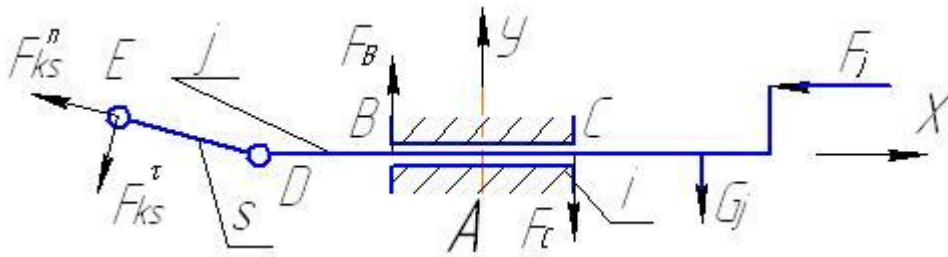


Рисунок 6 – Група Ассура з поступальною кінематичною парою (реакція у парі приведена у вигляді двох сил  $F_B$  і  $F_C$ )

### Висновки і напрямок подальших досліджень.

1. Реакцію в поступальній кінематичній парі, в загальному випадку, можна привести до сили  $F_{ij}$  і моменту  $M_{ij}$ , причому точка прикладання сили  $F_{ij}$  - невідома.

2. У загальному випадку число невідомих параметрів при силовому розрахунку поступальної пари - три, а саме: величина сили  $F_{ij}$ , величина моменту  $M_{ij}$ , точка прикладання сили  $F_{ij}$ .

3. Для того, щоб група Ассура стала статично визначною, необхідно задати точку прикладання сили  $F_{ij}$ . Теоретично ця точка може бути будь-яка, але найбільш зручно призначити цю точку в місці безпосереднього контакту ланок, наприклад, на відстані, що дорівнює половині довжини повзуна, від центру кінематичної пари.

4. З урахуванням розкладання моменту  $M_{ij}$  на пару сил, в загальному випадку, реакція в поступальній парі приводиться до двох сил, спрямованих в одну сторону, або в різні боки.

5. При проведенні силового розрахунку механізмів, реакції у поступальній кінематичній парі, в кінцевому вигляді, представлені у вигляді двох сил  $F_B$  і  $F_C$ , у яких відома точка прикладання та напрям, але невідома - величина. Ці дві сили можна використовувати для проведення розрахунків на міцність.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку зводяться до силових розрахунків різних груп Ассура з поступальними кінематичними парами з використанням вищевказаних рекомендацій.

### Бібліографічний список

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин /И. И. Артоболевский – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Механика. Теория механизмов и машин / Г. В. Григорьева, И. М. Надырова. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 201 с.
3. Теория механизмов и машин: курс лекций / Г. А. Тимофеев. – М.: ИД Юрайт, 2010. – 351 с.
4. Теория механизмов и машин / Н. А. Сапрыкина, А. А. Сапрыкин. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2011. – 126 с.
5. Горбенко В. Т. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование / В. Т. Горбенко, М. Т. Горбенко – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2007. – 144 с.
6. Силовой расчет механизмов / Г. А. Тимофеев, В. Б. Тарабарин, Л. А. Черная и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 88 с.

Рекомендована до друку д.т.н., проф. ДонДТУ Окаєловим В. М., д.т.н., доц. ДДМА Грибковим Е. П.

Стаття надійшла до редакції 07.06.2017

к.т.н. Алтухов В. Н. (ДонГТУ, г. Лисичанск, Украина)

### НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ СИЛОВОГО РАСЧЕТА МЕХАНИЗМОВ С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

*Предложены новые принципы силового расчета механизмов с поступательными кинематическими парами. Реакцию в поступательной кинематической паре в общем случае можно привести к силе и моменту, причем точка приложения силы - неизвестна. С учетом разложения момента на пару сил, в общем случае, реакция в поступательной паре приводится к двум силам, направленным в одну сторону, или в разные стороны. Таким образом, проведено обоснование представления реакции в поступательной кинематической паре в виде двух сил, при заданных точках приложения.*

**Ключевые слова:** поступательная кинематическая пара, реакция, сила, момент, механизм, расчет, точка приложения, силовой анализ, звено, группа Ассура, прочность.

PhD (Engineering) Altukhov V. N. (DonSTU, Lisichansk, Ukraine)

### NEW PRINCIPLES OF FORCE CALCULATION OF MECHANISMS WITH INTRODUCTORY KINEMATICAL PARKS

*New principles of force calculation for mechanisms with translational kinematic pairs are proposed. The reaction in the translational kinematic pair in the general case can be brought to the force and moment, and the point of application of the force is unknown. Taking into account the angular momentum decomposition, in the general case, the reaction in the translational pair is reduced to two forces directed to one side, or in different directions. Thus, the substantiation of the representation of the reaction in the translational kinematic pair in the form of two forces at given points of application was carried out.*

**Key words:** translational kinematic pair, reaction, force, moment, mechanism, calculation, point of application, force analysis, link, Assur group, strength.