

УДК 621.9

І. А. Ємельянова, А. М. Баранов, В. М. Нечипоренко, П. М. Калинин, О. В. Доброходова

**ПРИВІД АВТОМАТА-РІЗАЛЬНИКА ФІБРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З МОЖЛИВИМ
ОТРИМАННЯМ ШИРОКОГО ДІАПАЗОНУ ЇХ ДОВЖИНИ
ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ**

Проаналізовано кінематичний процес виробництва фібрового елемента, визначено, від яких параметрів залежить його довжина, на основі цього запропоновані зміни конструкції автомата-різальника з метою забезпечення оптимальних значень таких параметрів.

Постановка проблеми. У світовій практиці існує тенденція, що спрямована на виготовлення високоєфективних будівельних конструкцій і виробів з підвищеними міцнісними характеристиками, одним з яких є фібробетон (бетон армований сталевими чи іншими елементами у вигляді дроту або тонкої штаби), який використовують в різних видах будівництва, в тому числі дорожньому, тунельному, гірському, гідротехнічному. Наразі в Україні це питання досліджене недостатньо. За показником роботи руйнування сталеві фібробетон на 5–15 % може перевершувати звичайний бетон, залежно від його якості й технології приготування. Таке мікроармування досить ефективно зміцнює весь об'єм бетонного шару або покриття.

У цій області виробництва, яке забезпечує й потреби військових формувань України, також залишається актуальною проблема відновлення існуючого парку машин та устаткування. Не повністю вирішені проблеми з виготовлення фібрових елементів та введення їх у склад бетонної суміші, оскільки обладнання для цього майже відсутнє або існує у вигляді проекту чи дослідного зразку, що істотно гальмує процес застосування фібробетону в будівництві.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Широко використовують фібробетон у таких розвинутих країнах, як Німеччина, США, Японія, Велика Британія. Завдяки своїй високій міцності, опірності, можливості укладання порівняно тонкими шарами, цей матеріал має очевидні переваги перед іншими будівельними матеріалами, особливо для покриття доріг. Наприклад, в аеропорту Лас-Вегаса у шви злітно-посадочних смуг було укладено понад 8500 м³ фібробетону з відрізками сталевих дроту. За результатами спостережень та випробувань, які проводили протягом двох років, цей матеріал показав досить непогані результати [1]. У містечку Форт-Худі (штат Техас, США), витрати на укладання фібробетону склали 93 долара за 1 м³, а вартість виготовлення фібрових елементів та введення їх у суміш – приблизно 45 центів за 1 кг.

На цей час у світі відомо декілька способів виробництва сталевих фібрових елементів. Найбільш освоєними й поширеними є виготовлення їх із дроту з різанням на окремі елементи і профілюванням перерізу та виготовлення із тонкого сталевих листа або відпрацьованих сталевих канатів [2].

Як показали досліди, у фібрового елемента, виготовленого зі сталевих листа, тимчасовий опір розриву приблизно у 2 рази менший, ніж у фібрового елемента зі сталевих дроту [1].

У роботі [1] запропонована технологічна схема безвібраційного виготовлення плоских виробів методом роздільного укладання бетонної суміші й фібрових елементів, при якому немає необхідності окремо готувати фібробетонні суміші, що значно спрощує процес виготовлення фібробетону. У технологічній лінії пропонувалося застосувати автомат-різальник конструкції ЛатНИИС для виготовлення фібрових елементів періодичного профілю зі сталевих дроту малих діаметрів (від 0,4 до 1,5 мм), який частіш за все використовують при виробництві сталевих канатів.

Основним недоліком такої машини є неможливість зміни довжини фібрових елементів у процесі виробництва через те, що загальне передаточне число приводу постійне. Для зміни цього параметра можна застосувати лише один спосіб – демонтаж певної кількості ножів ріжучої головки, для чого потрібен деякий час, що є неефективним в умовах швидкого переналагодження технологічного процесу.

Метою статті є аналіз існуючої конструкції автомата-різальника фібрових елементів та запропоновання іншого типу приводу для можливого отримання широкого діапазону довжини фібрових елементів при виробництві фібробетону для задоволення потреб внутрішніх військ МВС України у ремонті та виготовленні інженерних конструкцій і будівництві споруд.

Виклад основного матеріалу. За умов необхідності швидкого переналадження технологічного процесу виробництва сталевібробетонних виробів і будівництва споруд, найбільш важливими факторами, що впливають на їх міцність, є геометричні параметри фібрових елементів, а також способи їх укладання та ущільнення (дві останні задачі детально розглянуті в роботі [1]).

Для того, щоб запропонувати інший тип приводу, спочатку необхідно проаналізувати, як залежать швидкість протягування дроту валками та лінійна швидкість крайки рухомого ножа від часу, за який з профільованого дроту відрізається один фібровий елемент заданої довжини.

Лінійна швидкість крайки рухомого ножа ножової головки, м/с:

$$v_H = \frac{\pi \cdot D_H \cdot n_H}{60} = \omega_H \frac{D_H}{2}, \quad (1)$$

де D_H – діаметр кола, яке описує крайка ножа, м; ω_H – кутова швидкість протягувальних валків, рад/с; n_H – частота обертання протягувальних валків, об/хв.

Аналізуючи кінематичну схему приводу, нескладно обчислити ці значення при відомих частотах обертання двигуна $n_{ДВ}$ (кутова швидкість $\omega_{ДВ}$) та клинопасової передачі $u_{ПП}$:

$$n_H = \frac{n_{ДВ}}{u_{ПП}}; \quad \omega_H = \frac{\omega_{ДВ}}{u_{ПП}}$$

Швидкість протягування дроту валками, м/с:

$$v_B = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60} = \omega_B \frac{D_B}{2}, \quad (2)$$

де D_B – діаметр протягувального профілюючого валка, виміряний по вершинах зубів, м; ω_B – кутова швидкість протягу вальних валків, рад/с; n_B – частота обертання протягувальних валків, об/хв.

За відомих значень передаточних чисел відкритих зубчастих передач $u_{ЗП1}$, $u_{ЗП2}$ приводу автомата-різальника [1], можна обчислити значення:

$$n_B = \frac{n_H}{u_{ЗП1} \cdot u_{ЗП2}}; \quad \omega_B = \frac{\omega_H}{u_{ЗП1} \cdot u_{ЗП2}}$$

Якщо підставити їх у формулу (2), отримаємо:

$$v_B = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_H}{60 \cdot u_{ЗП1} \cdot u_{ЗП2}} = \omega_H \frac{D_B}{2 \cdot u_{ЗП1} \cdot u_{ЗП2}}. \quad (3)$$

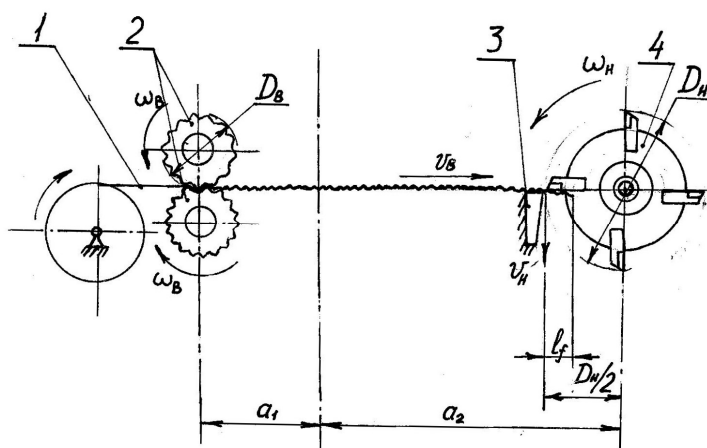


Рис. 1. Кінематична схема процесу профілювання та розрізання профільованого дроту на фіброві елементи:

- 1 – дрот; 2 – профілюючі валки; 3 – нерухомий ніж;
- 4 – ножова головка

На рис. 1 показана схема процесу подачі профілюючими валками 2 у зону обертання ножової головки 4 профільованого дроту 1, де здійснюється процес його розрізання на фіброві елементи нерухомим ножом 3.

Як бачимо, вектори швидкостей v_B і v_H направлені у вертикальній площині взаємно перпендикулярно, тому час, за який профільований дрот проходить від крайки нерухомого ножа до заданої довжини l_f , буде дорівнювати:

$$t_B = \frac{l_{f \max}}{v_B} = \frac{l_{f \max} \cdot 60 \cdot u_{ЗП1} \cdot u_{ЗП2}}{\pi \cdot D_B \cdot n_H}, \quad (4)$$

Як вже згадувалося раніше, в момент збігання в горизонтальній площині крайки одного з ножів, що описує дугу l_H діаметром D_H , і крайки нерухомого ножа 3, здійснюється процес відрізання фібрового елемента. Визначити час від моменту відрізання одним ножом до моменту підходу до горизонтальної площини другого ножа можна за формулою:

$$t_H = \frac{l_H}{z_H \cdot v_B} = \frac{60 \cdot \pi \cdot D_H}{z_H \cdot \pi \cdot D_H \cdot n_H} = \frac{60}{z_H \cdot n_H}, \quad (5)$$

де z_H – кількість ножів ножевої головки.

Очевидно, що для узгодження швидкостей та отримання заданої довжини l_f величини t_B і t_H мають бути рівними. Прирівнявши залежності (4) і (5), отримуємо:

$$\frac{l_f \cdot 60 \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2}}{\pi \cdot D_B \cdot n_H} = \frac{60}{z_H \cdot n_H} \rightarrow l_f = \frac{\pi \cdot D_B}{z_H \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2}}. \quad (6)$$

Таким чином, довжина фібрового елемента залежить від передаточних чисел приводу, діаметра профілюючого валка та кількості ножів. Як було вказано вище, існуючий спосіб – демонтаж певної кількості ножів, не є ефективним. Зміна геометричних параметрів валка також недоцільна, оскільки після цього необхідно буде перепроектувати декілька габаритних розмірів конструкції. Можливий варіант модернізації приводу верстата з постійним передаточним числом – використання деяких елементів механічних передач зі змінним передаточним числом. Наприклад, заміна відкритих зубчастих передач на тороїдальні сферичні варіатори.

Тороїдальні сферичні варіатори є механічними фрикційними передачами з твердими тілами-посередниками, що котяться та дозволяють змінювати передаточне число незалежно від опору руху, наприклад, за законом, що дає можливість двигуну працювати в економному режимі. Основні їх переваги: простота виготовлення, монтажу та експлуатації, відносно великий діапазон регулювання ($D = 3 \dots 8$), можливість автоматизованого керування.

Найбільш простим і раціональним рішенням щодо вдосконалення приводу автомата-різальника можна вважати використання у його конструкції тороїдного варіатора системи Светозарова (за співвісною схемою) [3] на проміжному валу між відкритими зубчастими передачами 3 і 4 (рис. 2). Така конструкція передачі дозволяє отримати мінімальні габарити варіатора та застосувати симетричне регулювання (форми ведучої і веденої чашок однакові).

У нашому випадку (рис. 2), якщо передаточні числа зубчастих передач $u_{зп1} = 2$, $u_{зп2} = 1$, то загальне

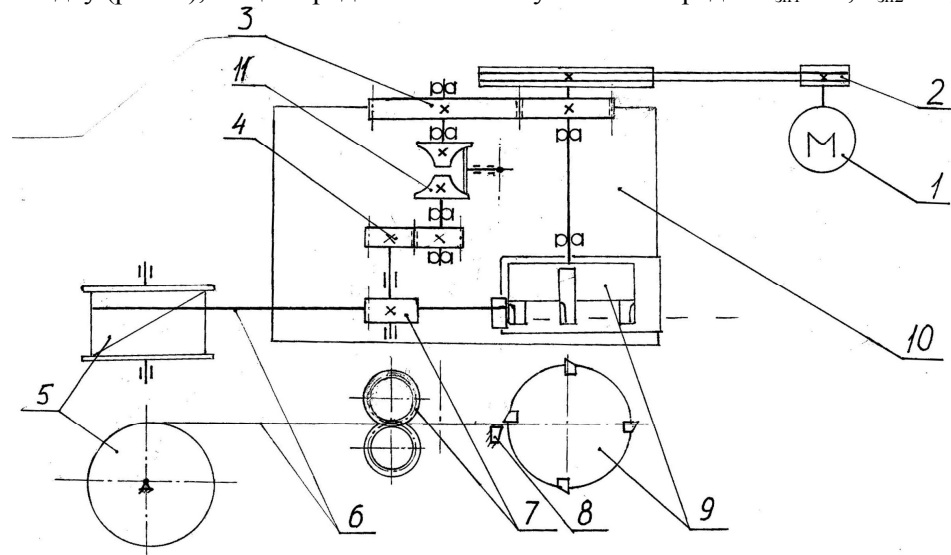


Рис. 2. Кінематична схема приводу модернізованого автомата-різальника фібрових елементів: 1 – електродвигун; 2 – клинопасова передача; 3 і 4 – зубчасті відкриті передачі; 5 – котушка з дротом; 6 – канатний (арматурний) дріт тонкого перерізу; 7 – вузол профілювання; 8 – нерухомий ніж; 9 – ножева головка з ножами; 10 – основа (станина столу); 11 – тороїдальний сферичний варіатор

передаточне число зубчастих відкритих передач $u_{зп} = u_{зп1} \cdot u_{зп2} = 2 \cdot 1 = 2$. Після встановлення між ними сферично-тороїдної передачі, її передаточне число повинно дорівнювати $u_{ст} = 1$, щоб зберегти параметри довжини фібрових елементів, які відповідають технічним характеристикам існуючої конструкції. У цьому випадку точки контакту ведучої і веденої чашок будуть розташовані на радіусі $R_{сер}$ внаслідок того, що ролик-посередник має бути встановлений у нейтральному середньому положенні, у якому вісь його обертання буде перпендикулярною до осі обертання чашок, а кут $\beta_1 = 45^\circ$ (рис. 3).

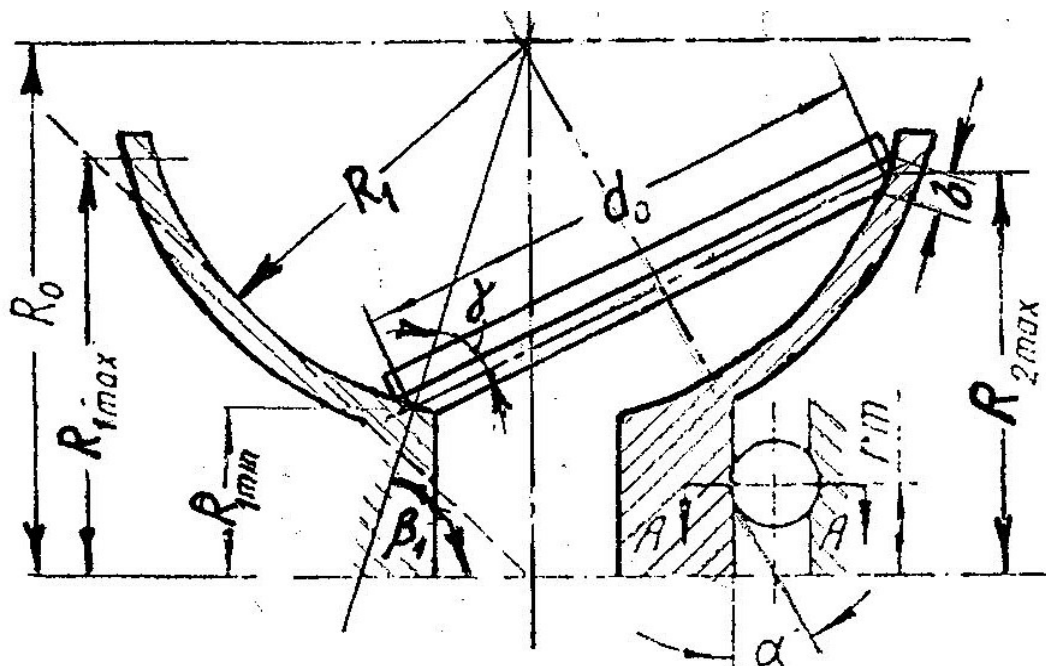


Рис. 3. Схема геометричних параметрів контакту чашок і ролика сферично-тороїдної передачі

Сутність проблеми в тому, щоб забезпечити можливість регулювання довжини фібрових елементів, навіть у процесі роботи автомата-різальника. Для аналізу та оцінювання варіантів конструкції приводу з механічними передачами використовують оціночні параметри, що залежать від вимог до приводів різних типів. Одним з таких важливих оціночних параметрів для механічних варіаторів є відношення передаточних чисел нижчої і вищої передач, яке називають діапазоном регулювання:

$$D = \frac{u_{\max}}{u_{\min}} \quad (7)$$

Якщо прийняти, що максимально можливе передаточне число варіатора $u_{\max ст} = 1/u_{\min ст}$, а мінімальне $u_{\min ст} = 1/u_{\max ст}$, ТОДІ:

$$D = u_{\max ст}^2 \quad (8)$$

З урахуванням цього довжина фібрового елемента буде змінюватися в діапазоні:

$$l_{f \min} = \frac{\pi \cdot D_B}{z_n \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2} \cdot u_{\max ст}} \leq l_f = \frac{\pi \cdot D_B}{z_n \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2} \cdot u_{ст}} \leq l_{f \max} = \frac{\pi \cdot D_B}{z_n \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2} \cdot u_{\min ст}} \quad (9)$$

Розглянемо на конкретному прикладі, як визначити діапазон довжини фібрових елементів на модернізованому автоматі-різальнику.

Вихідні дані: діаметр профілюючого валка, виміряний по вершинах зубів $D_B = 50$ мм, кількість ножів на ріжучій головці $z_H = 2$; передаточні числа зубчастих передач $u_{зп1} = 2$; $u_{зп2} = 1$, передаточні числа варіатора $u_{\min ст} = 0,5$, $u_{\max ст} = 2$.

Діапазон регулювання за формулою (8): $D = u_{\max ст}^2 = 2^2 = 4$.

Довжина фібрового елемента буде коливатися в діапазоні:

$$l_{f\min} = \frac{3,14 \cdot 50}{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2} \approx 20 \text{ мм} \leq l_f \leq l_{f\max} = \frac{3,14 \cdot 50}{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,5} \approx 78 \text{ мм}.$$

На існуючому варіанті конструкції автомата-різальника з такою кількістю ножів можна отримати фіброві елементи лише одної довжини $l_f = 39$ мм.

Інакше кажучи, якщо необхідно отримати фібровий елемент з довжиною $l_f = 60$ мм, то необхідно встановити такий кут ролика сферично-героїдної передачі, що відповідає передаточному числу $u_{ст}$. Із залежності (6) отримуємо:

$$u_{ст} = \frac{\pi \cdot D_B}{z_H \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2} \cdot l_f} = \frac{3,14 \cdot 50}{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 60} = 0,65. \quad (10)$$

Визначити всі геометричні, кінематичні і силові параметри та перевірити їх за критеріями роботоздатності тороїдально-сферичної передачі системи Светозарова можна за відомою методикою [3]. На кафедрі інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України така методика була реалізована у вигляді комп'ютерної програми, що розроблена доц. Калініним П. М. для виконавців кваліфікаційних робіт. Задавши вихідні дані: потужність, частоту обертання та максимальне передаточне число чи діапазон регулювання, рішення можна отримати поступово (діалоговий режим) або одразу (контрольний режим), що дозволяє змінювати ті чи інші параметри, залежно від поставленої інженерної задачі.

У роботі [1] при аналізі факторів, які впливають на процес профілювання та різання дротів діаметром $d_{f\max} = 1, 2$ мм, що одночасно протягуються паралельно один одному автоматом-різальником конструкції ЛатНИИС, була отримана емпірично-аналітична залежність максимально можливої потужності $P_{пр}$, що витрачається автоматом-різальником на процес профілювання (P_B) та різання (P_H) дроту, Вт:

$$P_{пр} = P_B + P_H = (M_{кр} + R_{зр} \cdot z_H \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2}) \cdot \omega_B =$$

$$= \left[\frac{T_n + T_{n+1}}{f} \left[f^2 \frac{2(R_B^3 - r_B^3)}{3(R_B^2 - r_B^2)} d\varphi_n + \frac{D_B}{2} \left(1 + \frac{1}{2} \cos \frac{\varphi_n}{2} \right) \mu_{TP} \right] + 0,2689 \frac{\sigma_P \cdot u_{зп1} \cdot u_{зп2}}{1000 \cdot \eta_P^{z_{п1}}} \right] \omega_B, \quad (11)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент, який передається профілюючими протягувальними валками, Н·м (рис. 4).

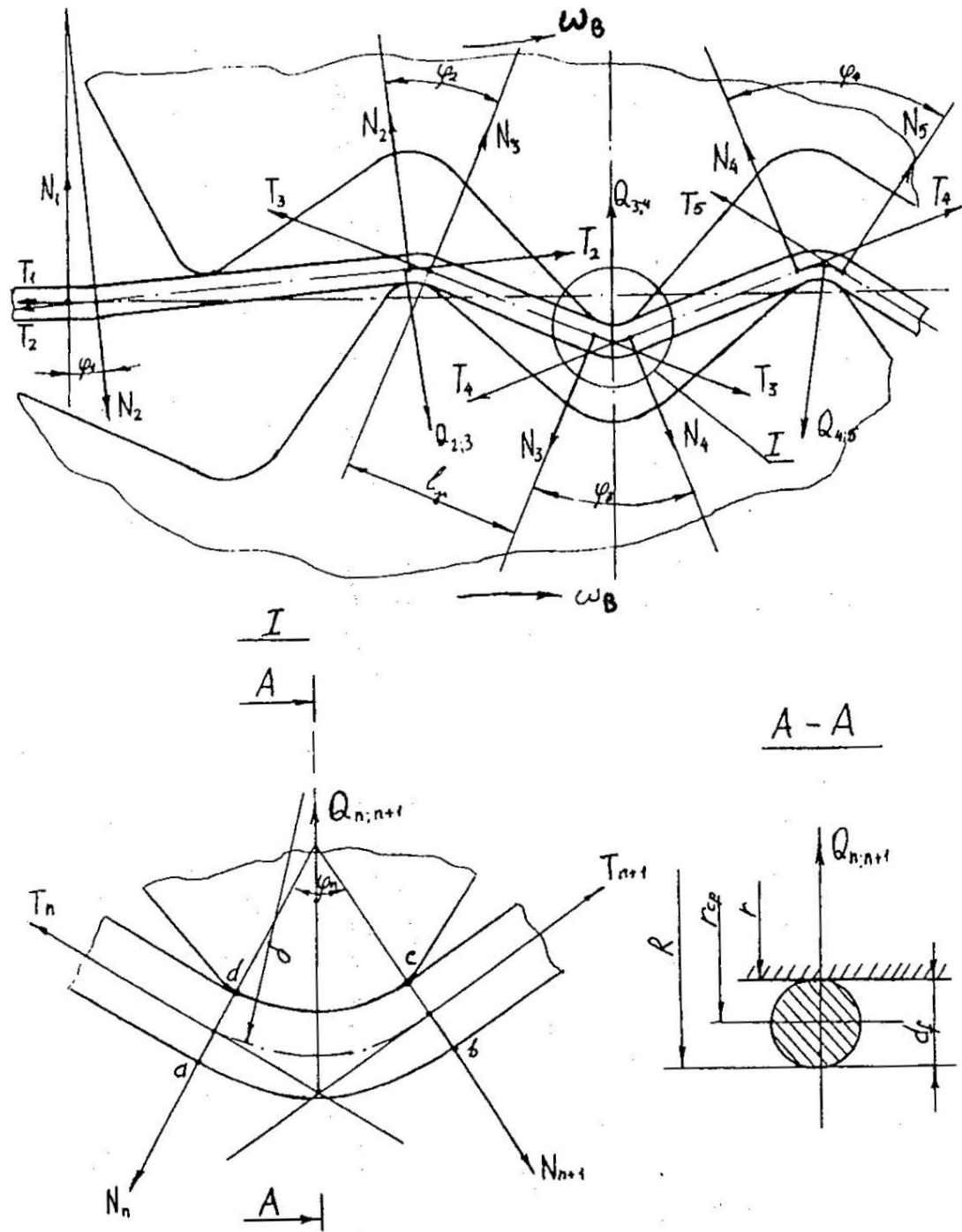


Рис. 4. Схема дії сил на дріт у процесі профілювання

Його визначають за формулою:

$$M_{кр} = \frac{T_n + T_{n+1}}{f} \left[f^2 \frac{2(R_B^3 - r_B^3)}{3(R_B^2 - r_B^2)} d\varphi_n + \frac{D_B}{2} \left(1 + \frac{1}{2} \cos \frac{\varphi_n}{2} \right) \mu_{тр} \right],$$

де T_n і T_{n+1} – дотичні сили в гілках профілю дроту, які розтягують його вздовж прямолінійної осі при деформації, що виникає у процесі профілювання, Н; $\frac{2(R_B^3 - r_B^3)}{3(R_B^2 - r_B^2)}$ – середній радіус від осі обертання

протягувального валка до осі симетрії дроту, $R_B = \frac{D_B}{2} + d_f$; $r_B = \frac{D_B}{2}$; f – коефіцієнт тертя ковзання сталі

по сталі при сухому терті; φ_n – кут між векторами сил реакцій, рад; $\mu_{тр}$ – коефіцієнт тертя кочення; $R_{зр}$ – зусилля, що витрачається на подолання опору різанню, Н; σ_p – напруження матеріалу дроту при розривній деформації, МПа; z_n – кількість профільованих дротів, які протягуються паралельно один одному; η_p – ККД механізму різання ($\eta_p = 0,93$).

Висновки

Таким чином, якщо задати параметри, якими можна варіювати (z_n, z_n, d_f) та продуктивність $P_{ст}$, що не суттєво впливають на компоновку існуючого типу конструкції автомата-різальника, отримаємо значення сумарної потужності, яка витрачається на виробництво фібрових елементів.

У роботі проаналізовано узгодження швидкості протягування дроту валками та швидкості крайки рухомого ножа залежно від часу, за який відрізається один фібровий елемент заданої довжини, та визначено, від яких параметрів залежить його довжина.

Запропонована ідея зміни в широкому діапазоні значення довжини фібрового елемента дозволяє використовувати таке модернізоване обладнання у різних схемах виробництва фібробетону (наприклад, методом торкретування [4]), а також дає можливість вибирати оптимальні характеристики при проведенні досліджень на міцність фібробетонних виробів і споруд, які використовуються військовими формуваннями України.

Список використаних джерел

1. Нечипоренко В. Н. Разработка технологического оборудования для производства набрызг-сталефибробетона : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02; захищена 03.07.97; / Нечипоренко Владимир Николаевич. – Х., 1997. – 190 с.
2. http://www.metalica.kh.ua/armirovanie_betona.php.
3. Дашкевич Б. П. Детали машин. Курсовое проектирование / Б. П. Дашкевич, С. К. Дьяченко, С. З. Столбовой. – Киев : Гос. изд-во тех. лит., 1959. – 296 с.
4. Ємельянова І. А. Вибір раціональних параметрів пневматичного обладнання для ремонтно-будівельних робіт / І. А. Ємельянова, А. М. Баранов, В. М. Нечипоренко, А. О. Задорожний. // Зб. наук. пр. Акад. ВВ МВС України. – Вип. 1 – 2 (7 – 8). – Х., 2006. – С. 107–113.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2008 р.