

УДК 621.771.63

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6819404>

Особливості силового розрахунку універсальних клітей профілезгинального стану

О.І. Тришевський¹, В.О. Москвіна*Державний біотехнологічний університет (м.Харків, Україна)
email: ¹ Zshev@ukr.net; ORCID: ¹ 0000-0002-4442-8055*

У роботі розглядаються питання розрахунку та проектування конструкцій універсальних клітей профілезгинальних станів, призначених для виробництва малотоннажних партій гнутих профілів для сільгоспмашинобудування. Встановлено, що серед багатьох публікацій з питань технології та обладнання для профілювання відсутні відомості щодо силового розрахунку обладнання станів, які могли б бути використані при проектуванні нових станів для виготовлення профілів малотоннажними партіями.

Метою роботи є визначення зусиль, і крутних моментів, що діють на елементи конструкції універсальної робочої клітей профілезгинального стану для загального випадку формування сортового несиметричного профілю швелерного типу, а також розробка еквівалентної розрахункової схеми дії цих зусиль для силового розрахунку клітей стану при проектуванні нового обладнання.

На підставі виконаних досліджень визначені вирази для розрахунку сумарних зусиль від підгінання полиць і стінки швелера, а також крутних моментів, що діють на робочі поверхні вертикальних непривідних валків універсальної робочої клітей, розроблена еквівалентна розрахункова схема зусиль, що діють на станину, бути використана для силових розрахунків універсальних клітей новопроєктованого профілезгинального обладнання

Ключові слова: *гнутий профіль, профіль, універсальна кліть, силовий розрахунок, еквівалентна схема, зусилля профілювання, крутний момент*

Постановка проблеми дослідження. У конструкціях різних видів сільськогосподарської техніки широке застосування знаходять гнуті економічні профілі різної конфігурації. Їх застосування у сільгоспмашинах забезпечує значну економію металу та у зв'язку з цим зниження ваги машин та механізмів. Одночасно зі зниженням маси машин зменшується потрібна потужність їх приводних двигунів, знижується тиск машин на ґрунт.

Гнуті профілі поставляються на машинобудівні підприємства, що виготовляють сільгосптехніку, з металургійних комбінатів, де виготовляються на сучасних високопродуктивних профілезгинальних агрегатах. В останні роки у зв'язку з економічною ситуацією, що склалася в Україні, нова сільгосптехніка виготовляється в обмеженій кількості, у зв'язку з чим виробництво гнутих профілів малотоннажними партіями на високопродуктивних агрегатах металургійних підприємств стає економічно нерентабельним.

В даний час основними постачальниками гнутих профілів для потреб сільського господарства є невеликі приватні компанії, що виготовляють необхідні профілі на профілезгинальних станах власної спрощеної конструкції. Причому, у зв'язку з відсутністю в технічній літературі відповідних рекомендацій щодо силового розрахунку та проектування обладнання профілезгинальних агрегатів, а також відсутністю власного досвіду з

розрахунків, проектування та виготовлення таких машин, найчастіше експлуатовані профілезгинальні стани мають суттєві конструктивні недоліки, що обмежують можливості цього обладнання, щодо випуску якісних гнутих профілів. У зв'язку з викладеним особливу актуальність для інженерів-конструкторів, що займаються питаннями розрахунків, проектування та виготовлення нових профілезгинальних станів, набувають дослідження, спрямовані на отримання надійних методик розрахунку силових параметрів найбільш навантаженого при експлуатації обладнання таких агрегатів, до якого в тому числі належать і універсальні клітини профілезгинальних станів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Незважаючи на досить значну кількість публікацій, що стосуються різних аспектів конструкції та експлуатації профілезгинального обладнання, робіт, присвячених аналізу сил і моментів, що виникають у процесі формування, та їх впливу власне на елементи конструкції клітей профілезгинального стану а, тим більше, спроб їх аналітичного визначення та розрахунку у вітчизняній та зарубіжній науково-технічній літературі практично не виявлено.

Наприклад, у роботі [1] викладаються загальні принципи роботи обладнання профілезгинального стану, проте питання розрахунків окремих елементів його обладнання не розглядаються.

У частині роботи [2], що стосується обладнання для виробництва гнутих профілів, зазначається, що через високу вартість станів, великі витрати на інструмент і значні втрати часу на переважку, виготовлення профілів малими партіями за традиційною технологією з використанням великогабаритних багатоклітинних станів утруднено. І тому актуальності набувають питання, пов'язані з розробкою технології та проектування профілезгинального обладнання виходячи з найменших витрат на виробництво.

Розроблено методику розрахунку параметрів профілезгинального стану, яка дозволяє: оптимізувати кількість робочих клітей та діаметр валків з метою зниження маси обладнання, визначити максимально допустимий кут підгинання в першій та кожній наступній клітці стану, розрахувати зусилля та роботу деформування, витрачені на отримання профілю. Проте питання силового розрахунку клітей стану в роботі не розглядаються.

У роботі [3] обговорюються питання розробки математичних моделей, які необхідні для проектування нових дротяних станів та прокатно-волоцьких агрегатів. Для інтенсифікації процесу прокатки використовують багатовалкові калібри (рис. 1). У роботі наведено рівняння для визначення середнього питомого тиску прокатки металу, виходячи з умови рівноваги сил, що діють на елементарний об'єм в осередку деформації, отримане у припущенні, що зміцнення вздовж осередку деформації передбачається лінійним. Однак, суттєві відмінності в умовах протікання процесів гарячої прокатки сортового дроту та профілювання в універсальних клітках, схемах докладання та дії зусиль та крутих моментів у клітках не дозволяє використовувати наведені залежності для силового розрахунку клітей профілезгинального стану.

У розділі роботи [4], який стосується обладнання, що використовується при виробництві гнутих профілів, описуються конструкції клітей профілезгинальних станів різного типу: звичайних двовалкових зі станинами відкритого типу, консольних, способи кріплення та налаштування в них комплектів формуючих валків. Однак, сили, що діють у клітці в процесі формоутворення, схеми їх докладання та силові розрахунки конструкції клітці в роботі не розглядаються.

У роботі [5] наведено конструкцію клітці та розглядаються питання нанесення спеціального рельєфу на окремі ділянки гнутих профілів, визначається потрібне зусилля для формування цих рифлень.

Однак схема дії цього зусилля на елементи клітці не наводиться, сам процес формоутворення рифлень за рахунок місцевої витяжки металу у валках принципово відрізняється від процесів отримання гнутих профілів шляхом пластичного

вигину в ряді клітей стану, а сам отриманий вираз для визначення зусилля формування швидше може бути використаний для визначення технічної можливості отримання профілів з рифленнями в клітках стану з відомими технічними характеристиками, ніж для силових розрахунків клітей устаткування, що знову проектується.

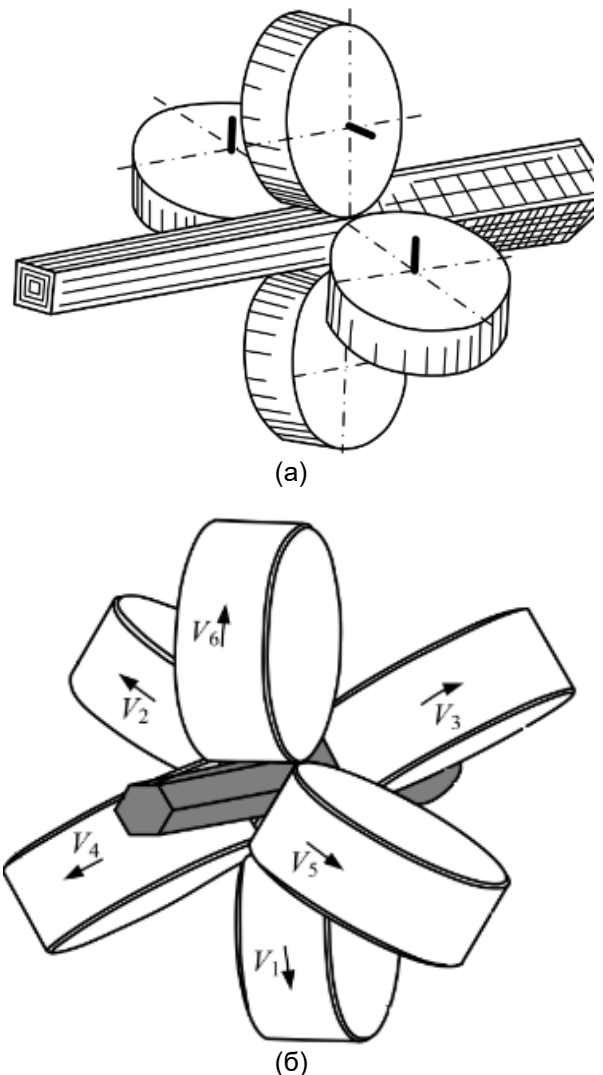


Рис.1 Схема прокатки заготовки
 а) квадратної форми: у чотиривалковому калібрі; б) шестигранної форми – у клітці з шести-валковим калібром.

В цілому слід зазначити, що в абсолютній більшості статей, що стосуються технології та обладнання для виробництва гнутих профілів, питання силового розрахунку клітей профілезгинальних станів не розглядаються, а результати досліджень енергосилових параметрів, що наводяться, в основному стосуються формування конкретних профілів певного типу, а їх результати можуть бути використані лише для визна-

чення технічної можливості формування того чи іншого типу профілів на наявному обладнанні.

Метою роботи є визначення зусиль, і крутих моментів, що діють на елементи конструкції універсальної робочої кліті профілезгинального стану, для загального випадку формоутворення сортового несиметричного профілю швелерного типу, а також розробка еквівалентної розрахункової схеми дії цих зусиль для силового розрахунку кліті стану при проектуванні нового обладнання.

Виклад основного матеріалу. Незважаючи на переваги конструкції найбільш поширеної двовалкової робочої кліті зі станинами відкритого типу, вона не повністю задовольняє сучасним вимогам, пов'язаним із зростанням швидкостей профілювання, збільшенням висоти формування, ускладненням сортаменту, підвищенням вимог, що пред'являються до якості та точності розмірів гнутих профілів. Найбільш доцільним шляхом задоволення цих вимог є застосування універсальних робочих клітей. Відмінністю універсальної кліті від двовалкової є наявність двох касет з вертикальними неприводними валками, осі яких розташовані в одній вертикальній площині з осями горизонтальних приводних валків.

Вертикальні неприводні валки в універсальній кліті забезпечують значне зниження енергоси-

лових параметрів профілювання внаслідок зменшення тертя у калібрах валків та порушення поверхні металу профілів. Застосування вертикальних валків підвищує стійкість робочих валків, забезпечує стабільність швидкості руху профілю у валках, що значно полегшує синхронізацію роботи обладнання профілезгинальних агрегатів.

Зниження втрат потужності на тертя при формуванні профілів в універсальних клітях з вертикальними валками досягається за рахунок вирівнювання швидкостей профільних елементів валка і полоси, що формується.

Однак вертикальні валки в перших робочих клітях стану ускладнюють формування профілів з відносно великими по ширині елементами, що підгинаються, і при невеликому сумарному куті підгинання.

Розподіл зусиль, що діють при профілюванні в універсальній кліті з вертикальними валками, визначається, головним чином, характером розподілу тисків профільованої заготовки на поверхню валків. Вони залежать від типу профілю та його геометричних розмірів.

На рис. 2 показано схему сил, що виникають в осередку деформації при профілюванні несиметричного профілю швелерного типу, які впливають на елементи конструкції універсальної кліті.

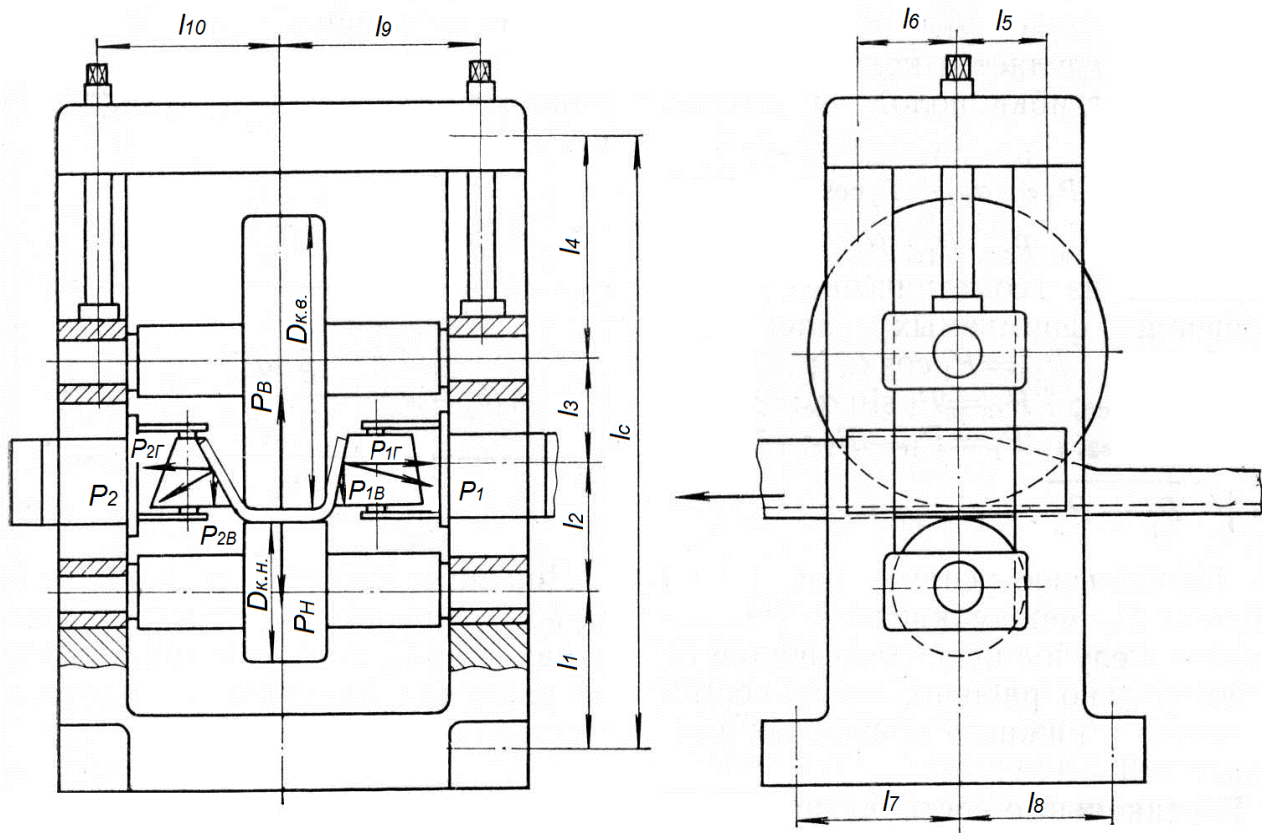


Рис.2 Схема дії зусиль на елементи конструкції універсальної кліті при профілюванні несиметричного швелера

Зусилля P_H , що діє на нижній валок від стінки швелера, що формується.

$$\begin{aligned}
 P_H &= \int_{c_1}^{h-c_2} P_x h b_1 dx + \\
 &+ \int_{c_2}^{h-c_1} P_x h b_2 dx = \\
 &= \int_{c_1}^{h-c_2} \left(\frac{\sigma_T S^2}{4x} + 3,52 \cdot 10^{-4} \times \right. \\
 &\quad \left. \times E \alpha_1^{1,4} s^{2,6} \cdot h^{-2,6} x \right) dx + \\
 &+ \int_{c_2}^{h-c_1} \left(\frac{\sigma_T S^2}{4x} + 3,52 \cdot 10^{-4} \times \right. \\
 &\quad \left. \times E \alpha_2^{1,4} s^{2,6} \cdot h^{-2,6} x \right) dx = \\
 &= A \ln \left(\frac{h-c_1}{c_2} \cdot \frac{h-c_2}{c_1} \right) + \\
 &+ B \left[\frac{\alpha_2^{1,4}}{h^{2,6}} \cdot \frac{(h-c_1)^2 - c_2^2}{2} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\alpha_1^{1,4}}{h^{2,6}} \cdot \frac{(h-c_2)^2 - c_1^2}{2} \right],
 \end{aligned} \quad (1)$$

де c_1 – відстань від вершини кута підгинання до початку контакту полоси з поверхнею валка по одній полиці, $c_2 = s \left(\frac{135}{\alpha_{c1}} + \frac{1}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha_{c1}}{2}$; c_2 – відстань від вершини кута підгинання до точки початку контакту полоси з поверхнею валка по іншій полиці; α_1, α_2 – кути підгинання полиць за прохід, град; $A = \frac{\sigma_T S^2}{4}$; $B = 3,52 \cdot 10^{-4} E s^{2,6}$, α_{c1}, α_{c2} – сумарні кути підгинання відповідних полиць швелера за прохід.

Зусилля P_1 і P_2 , що діють на робочі поверхні вертикальних неприводних валків від розподіленого тиску полиць швелера, що формуються, визначають за формулами:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \int_{c_1}^{b_1} P_x dx = \int_{c_1}^{b_1} \left(\frac{\sigma_T S^2}{4x} + \right. \\
 &\quad \left. + 3,52 \cdot 10^{-4} E \alpha_2^{1,4} s^{2,6} h^{-2,6} x \right) dx = \\
 &= A \ln \frac{b_1}{c_1} + B \alpha_2^{1,4} b_1^{-2,6} \left(\frac{b_1^2 - c_1^2}{2} \right);
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \int_{c_2}^{b_2} P_x dx = \int_{c_2}^{b_2} \left(\frac{\sigma_T S^2}{4x} + \right. \\
 &\quad \left. + 3,52 \cdot 10^{-4} E \alpha_1^{1,4} s^{2,6} h^{-2,6} x \right) dx = \\
 &= A \ln \frac{b_2}{c_2} + B \alpha_1^{1,4} b_2^{-2,6} \left(\frac{b_2^2 - c_2^2}{2} \right);
 \end{aligned} \quad (3)$$

Зусилля P_B , що діє на верхній валок, визначається як сума зусиль від підгинання полиць та стінки швелера

$$P_B = P_H + P_1 \cos \alpha_{c1} + P_2 \cos \alpha_{c2}. \quad (4)$$

Зусилля $P_{1B}, P_{2B}, P_{1\Gamma}, P_{2\Gamma}, P_p, P_c$ визначають з геометричних співвідношень елементів профілю, що формується:

$$\begin{aligned}
 P_{1B} &= P_1 \cos \alpha_{c1}; P_{2B} = P_2 \cos \alpha_{c2}; \\
 P_{1\Gamma} &= P_1 \sin \alpha_{c1}; P_{2\Gamma} = P_2 \sin \alpha_{c2}; \\
 P_p &= P_{1\Gamma} - P_{2\Gamma}; P_c = \sqrt{P_p^2 + P_B}.
 \end{aligned}$$

Найбільше зусилля натягу полоси P_T між клітями спостерігається у разі прослизання її щодо робочих поверхонь верхнього та нижнього приводних валків.

Вертикальні складові зусиль від підгинання полиць (P_{1B} і P_{2B}) створюють крутні моменти на стійках станин.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= P_{1B} l_{1B}, \\
 M_2 &= P_{2B} l_{2B},
 \end{aligned} \quad (5)$$

де l_{1B} і l_{2B} – плечі докладання зусиль P_{1B} і P_{2B} .

Величини l_{1B} і l_{2B} визначають виходячи із заданих конструктивно лінійних розмірів l_9 і l_{10} за формулами:

$$\begin{aligned}
 l_{1B} &= l_9 - \frac{h_1}{2} - x_{01} \sin \alpha_{c1}; \\
 l_{2B} &= l_{10} - \frac{h_1}{2} - x_{02} \sin \alpha_{c2},
 \end{aligned} \quad (6)$$

де h – ширина горизонтального елемента профіля; x_{01} і x_{02} – відстані від вершин кутів підгинання відповідних полиць до точок докладання рівнодіючих P_1 і P_2 :

$$\begin{aligned}
 x_{01} &= \frac{A(b_1 - c_1) + \frac{b}{3} \frac{\alpha_{c1}^{1,4}}{b_1^{2,6}} (b_1^3 - c_1^3)}{P b_1}; \\
 x_{02} &= \frac{A(b_2 - c_2) + \frac{B}{3} \frac{\alpha_{c2}^{1,4}}{b_2^{2,6}} (b_2^3 - c_2^3)}{P b_2}.
 \end{aligned} \quad (7)$$

Лінійні розміри $l_1, l_c, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}$ визначають конструктивно, а розміри l_2, l_3, l_4 – в залежності від розмірів профілю за формулами:

$$\begin{aligned}
 l_2 &= \frac{D_{к.н.}}{2} + s + x_{01} \cos \alpha_{c1}; \\
 l_3 &= \frac{D_{к.н.} + D_{к.в.}}{2} + s - l_2; \\
 l_4 &= l_2 - (l_1 + l_2 + l_3),
 \end{aligned} \quad (8)$$

де s – товщина полоси, що формується; $D_{к.н.}$ і $D_{к.в.}$ – катаючі діаметри нижнього та верхнього валків.

Після визначення величин активних сил, що діють на систему, і точок їх прикладання визначаємо реакції зв'язків.

На рис. 3 наведено еквівалентну розрахункову схему правої станини (див. рис. 2) універсальної кліті з позначенням діючих на неї зусиль.

Реакції R_1 і R_2 знаходять із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_2}{2} l_c + \frac{P_p}{2} (l_1 + l_2 + l_3) - \\ - \frac{P_{1Г}}{2} (l_1 + l_2) - \frac{P_p}{2} l_1 + \frac{M_1}{2} = 0; \\ \frac{R_2}{2} + \frac{P_p}{2} - \frac{P_{1Г}}{2} + \frac{R_1}{2} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

рішення якої дає:

$$R_2 = \frac{[R_{1Г}(l_1 + l_2) + P_p(l_2 + l_3) - M_1]}{l_c}; \quad (10)$$

$$R_1 = P_{1Г} - R_2$$

Реакції R_3 і R_4 знаходимо із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} R_3(l_7 + l_8) - \frac{P_{Т.В.}}{2} (l_1 + l_2 + l_3) - \\ - \frac{P_{Т.Н.}}{2} l_1 + Gl_8 = 0, \\ R_3 + G - R_4 = 0, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

або

$$R_3 = \frac{\frac{P_{Т.В.}}{2} (l_1 + l_2 + l_3) + \frac{P_{Т.Н.}}{2} l_1 - Gl_8}{l_7 + l_8}, \quad (12)$$

$$R_4 = R_3 + G.$$

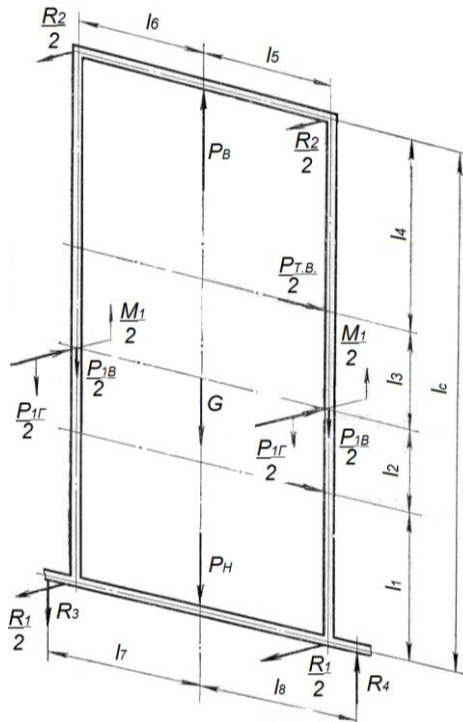


Рис.3 Еквівалентна розрахункова схема зусиль, що діють на праву станину універсальної кліті

Станина робочої універсальної кліті має складну схему навантаження і при її розрахунку облік всіх чинників дуже скрутний. Однак при

інженерних розрахунках деякими величинами можна знехтувати, приймаючи такі припущення:

1) при профілюванні з вертикальними неприводними валками вертикальні зусилля $P_{1В}$ і $P_{2В}$ незначні порівняно із загальними вертикальними зусиллями P_B і P_H , тому момент M_1 не має істотного впливу і можна прийняти $M_1 = 0$;

2) зусилля натягу полоси при профілюванні в універсальних клітях на кілька порядків менше сумарного зусилля, створюваного тиском металу на валки, тому можна прийняти $P_T = 0$.

Висновки:

1. На підставі аналізу схеми дії зусиль на елементи конструкції універсальної кліті профілезгинального стану для загального випадку формування несиметричного швелера визначені вирази для розрахунку сумарних зусиль від підймання полиць і стінки швелера, а також крутних моментів, що діють на робочі поверхні вертикальних неприводних валків.

2. На підставі виконаних досліджень розроблено еквівалентну розрахункову схему зусиль, що діють на станину універсальної кліті, та реакцій відповідних опор, яка може бути використана для силових розрахунків універсальних клітей ново проєктованого профілезгинального обладнання

Литература:

1. Клімьонов М. В. Чухліб В.Л. Розгляд конструкції профілезгинального стану. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Машини та технології обробки матеріалів тиском./ Національний університет «Запорізька політехніка», 2020.65 с.

2. Тепин Н.В. Совершенствование оборудования и технологии для производства гнутых профилей: дис. канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 150 с.

3. Marina N. Samodurova, Olga I. Karandaeva, Vadim R. Khramshin and Ivan V. Liubimov. Calculating Power Parameters of Rolling Mill Based on Model of Deformation Zone with Four-Roll Passes. Machines 2020, 8(4), 73; <https://doi.org/10.3390/machines8040073>.

4. Roll Forming Handbook / edited by G.T Halmos. 2006 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press. 583 p.

5. Тришевський О.І., Воробьов Д.С. Визначення тиску металу на валки при накатці рельєфу на елементах гнутих профілів. Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»./ 2019 р. №15 Харків. С. 9-11.

References

1. Klimonov M. V. Chukhlib V. L. Rozghliad konstruktssii profilezghynalnoho stanu. Zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi

konferentsii «Mashyny ta tekhnolohii obrobky materialiv tyskom./ Natsionalnyi universytet «Zaporizka politekhnika», 2020.65.

2. Tepyn N.V. Sovershenstvovanye oborudovaniya y tekhnolohyy dlia proyzvodstva hnutkh profylei: dys. kand. tekhn. nauk. Yzhevsk, 2006. 150.

3. Marina N. Samodurova, Olga I. Karandaeva, Vadim R. Khramshin and Ivan V. Liubimov. Calculating Power Parameters of Rolling Mill Based on Model of Deformation Zone with Four-Roll

Passes. Machines 2020, 8(4), 73; <https://doi.org/10.3390/machines8040073>.

4. Forming Handbook / ed. by G.T Halmos. 2006 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press. 583 p.

5. Trishevskiy O.I., Vorobov D.S. Vyznachennia tysku metalu na valky pry nakattsi reliefsu na elementakh hnutykh profiliv. Naukovyi zhurnal «Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv»./ 2019 r. №15 Kharkiv. P. 9-11.

Аннотация

Особенности силового расчета универсальных клетей профилегибочного стана

О.И. Тришевский, В.А. Москвина

В работе рассматриваются вопросы расчёта и проектирования конструкций универсальных клетей профилегибочных станов, предназначенных для производства малотоннажных партий гнутых профилей для сельхозмашиностроения. Установлено, что среди множества публикаций по вопросам технологии и оборудования для профилирования отсутствуют сведения, касающиеся силового расчёта оборудования станов, которые могли бы быть использованы при проектировании новых станов для изготовления профилей малотоннажными партиями.

Целью работы является определение усилий, и крутящих моментов, действующих на элементы конструкции универсальной рабочей клетки профилегибочного стана для общего случая формообразования сортового несимметричного профиля швеллерного типа, а также разработка эквивалентной расчётной схемы действия этих усилий для силового расчёта клетки стана при проектировании нового оборудования.

На основании выполненных исследований определены выражения для расчёта суммарных усилий от подгибки полок и стенки швеллера, а также крутящих моментов, действующих на рабочие поверхности вертикальных неприводных валков универсальной рабочей клетки, разработана эквивалентная расчётная схема усилий, действующих на станину, и реакций соответствующих опор, которая может быть использована для силовых расчётов универсальных клетей вновь проектируемого профилегибочного оборудования

Ключевые слова: *гнутый профиль, профилирование, универсальная клеть, силовой расчёт, эквивалентная схема, усилие профилирования, крутящий момент*

Abstract

Features of the power calculation of universal stands of the roll forming mill

O.I. Trishevsky, V.A. Moskvina

The paper deals with the issues of calculation and design of structures of universal stands of roll forming mills intended for the production of low-tonnage batches of roll-formed profiles for agricultural engineering. It has been established that among the many publications on the issues of technology and equipment for profiling, there is no information regarding the power calculation of mill equipment that could be used in the design of new mills for the manufacture of profiles in small-tonnage batches.

The aim of the work is to determine the forces and torques acting on the structural elements of the universal working stand of the roll forming mill for the general case of forming a sectioned asymmetric profile of the channel type, as well as to develop an equivalent design scheme for the action of these forces for the force calculation of the mill stand when design new equipment.

Based on the studies performed, expressions were determined for calculating the total forces from bending the shelves and the channel wall, as well as the torques acting on the working surfaces of the vertical non-driven rolls of the universal working stand, an equivalent design scheme of the forces acting on the frame and the reactions of the corresponding supports, which can be used for force calculations of universal stands of newly designed roll forming equipment

Keywords: *bent profile, profiling, universal cage, force calculation, equivalent Circuit, profiling force, torque*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Trishevsky, O. I. and Moskvina, V. A. (2022) 'Features of the power calculation of universal stands of the roll forming mill', *Engineering of nature management*, (1(23)), pp. 68 - 73.

Подано до редакції / Received: 29.01.2022