

7. Герашенко О.А. Температурные измерения / О.А. Герашенко, А.Н. Гордов, В.И. Лах и др. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1984. – 496 с.

Фединец В.А. Особенности измерения температуры газовых потоков

Рассмотрены особенности измерения температуры газовых потоков в зависимости от типового случая их протекания. Указано, что при измерениях в высокоскоростных потоках необходимо учитывать как влияющий фактор частичное торможение потока в зоне размещения термопреобразователя, что вызывает дополнительный нагрев его рабочей части. Разработаны рекомендации по выбору методов и средств измерения.

Ключевые слова: температура, газовый поток, методы измерения, термопреобразователь, технологический процесс.

Fedynets V.O. Features of measuring of temperature gas streams

The features of measuring of temperature of gas streams are considered depending on the typical case of their flowing. It is indicated that during measuring in high-speed streams it is necessary to take into account as influence partial braking of stream in the area of placing of receivers of temperature which causes the additional heating him working part. Recommendations are worked out from the choice of methods and measuring facilities.

Keywords: temperature, gas stream, measuring methods, receivers of temperature, technological process.

УДК 674.002.5

Инж. В.В. Войтович; проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук –
НЛТУ України, м. Львів

ЗМІЦНЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИМ ТЕРТЯМ НАПРЯМНИКІВ СТРІЧКОПИЛКОВОГО ВЕРСТАТА

Описано результати експериментальних досліджень. Отримано рівняння регресії, яке характеризує залежність мікротвердості поверхні циліндричного напрямника від сили притискання і швидкості подавання фрикційного диска. Показано вплив глибини поверхневого шару на зміну мікротвердості матеріалу.

Ключові слова: мікротвердість, зміцнення, напрямник.

Керування технічним станом технологічного обладнання під час експлуатації визначають передусім стратегією технічного обслуговування і ремонту, в основі якої лежить науково обгрунтована структура ремонтного циклу. Її визначають довговічністю і зносостійкістю усіх деталей верстата, зокрема й базових, а саме: напрямників, осей, валів, вальниць й т. ін.

Досліджено процес розпилювання та підготовки інструменту на стрікопильних верстатах у працях В.А. Худякова, О.Є. Феоктістова, Є.В. Трухіна, Н.Ю. Мікловця, І.Т. Ребезнюка, Б.А. Веселкової, С.П. Степанчука та ін. Але питанням керування технічним станом верстатів у цих роботах не приділено уваги. За результатами аналізу конструктивних особливостей і практики експлуатації горизонтальних стрікопильних верстатів встановлено:

1. На більшості підприємств, де розпилюють колоди на бруси і дошки використовують горизонтальні стрікопильні верстати вітчизняного виробництва. Ці верстати за своїми показниками забезпечують вимоги щодо якості та продуктивності.
2. На сьогодні в Україні немає жодної науково-дослідної роботи з дослідження надійності цих верстатів, відсутні науково обгрунтовані та практично апробовані структури ремонтних циклів і рекомендації щодо їх розроблення.

3. Зібрані нами статистичні дані з підприємств щодо довговічності основних спаружень верстатів показали, що найменший ресурс мають деталі механізму подавання пилкового супорта, ходові колеса та напрямники, термін служби яких не перевищує 2...3 роки.

Конструкцію спаруження, напрямник – ходове колесо – зображено на рис. 1.

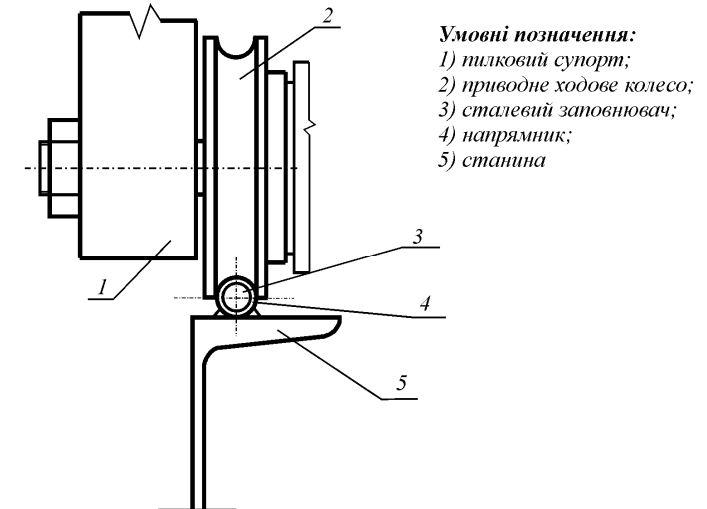


Рис. 1. Схема спаруження, напрямник – ходове колесо

У процесі експлуатації верстата під дією змінних сил, що виникають у спаруженні, а також дії абразивних частинок, що попадають у стик, швидко зношується напрямник циліндричного перетину. Направники виготовляють з труб діаметром 1/2 дюйма. Для підвищення жорсткості труби в середину її забивають циліндричний стержень. Практика показує, що підвищення зносостійкості ходових коліс призводить до швидкого зношування напрямників, які є складною деталлю у виготовленні і виверненні. Тому ходові колеса виготовляють з конструкційної сталі Ст3. І під час ремонту замінюють ходові колеса, які мають менший ресурс. Якщо підвищити зносостійкість напрямників, тоді можна виготовляти ходові колеса з високовуглецевої, або легованої сталі, і термін служби цього спаруження підвищиться. Ми запропонували для зміцнення поверхні циліндричного напрямника використати метод високошвидкісного тертя [1].

Існуюча експериментальна установка для проведення дослідів розроблена на базі модернізованого універсального загострювального верстата моделі 3А64 дає змогу плавно регулювати швидкість подавання дослідного зразка [2]. Силу притискання фрикційного диска регулювали ступінчасто. Глибину зміцненого шару напрямника вимірювали на різній відстані від поверхні труби. Для зміцнення використали профільний фрикційний диск діаметром 200 мм, виготовлений зі сталі 40Х.

Для обгрунтування режимів зміцнення було проведено серію попередніх дослідів на різних режимах. Змінними факторами була сила притискання диска

до напрямника P і швидкість подавання напрямника ν_s . Мікротвердість зміцненого поверхневого шару вимірювали на різних глибинах. Для вимірювання мікротвердості використали твердомір моделі ПМТ-3М. Напрямок зміцнювали в чотирьох протилежних місцях. Після зміцнення його розрізали на окремі кільця шліфували разом з затискним пристроєм, проводили травлення і заміряли мікротвердість. Аналіз попередніх дослідів дав змогу встановити, що залежність мікротвердості від сили притискання P , швидкості подавання ν_s і глибини зміцнення h криволінійна і її можна описати показниковою функцією

$$H_m = C \cdot P^{a_1} \cdot \nu_s^{a_2} \cdot h^{a_3}, \quad (1)$$

де: C – постійна величина, що залежить від конкретних умов високошвидкісного тертя; a_1, a_2, a_3 – показники степеня, визначені експериментально.

Після логарифмування отримали лінійну залежність

$$\ln H_m = \ln C + a_1 \cdot \ln P + a_2 \cdot \ln \nu_s + a_3 \cdot \ln h. \quad (2)$$

Рівняння регресії будемо шукати у вигляді неповного квадратного рівняння

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

де: $y = \ln H_m$; $a_0 = \ln C$; $x_1 = \ln P$; $x_2 = \ln \nu_s$; $x_3 = \ln h$.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії використали повний факторний план (ПФП) для трьох змінних чинників. Кількість дослідів дорівнює $N = 2^3$. Рівні кодування чинників, що впливають на мікротвердість, наведено у табл. 1.

Табл. 1. Рівні кодування чинників, що впливають на мікротвердість зміцненої поверхні

Назва чинника	Позначення		Інтервал зміни у логарифмічній формі	Рівні кодування					
	явно	нормалізовано		у явному вигляді			у логарифмічній формі		
				-1	0	+1	-1	0	+1
Сила притискання, Н	P	x_1	0,11	400	447,2	500	5,99	6,1	6,21
Швидкість подавання, м/хв	ν_s	x_2	0,28	1	1,323	1,75	0	0,28	0,56
Глибина зміцнення, мкм	h	x_3	1,42	50	206,2	850	3,91	5,33	6,75

Матрицю планування експериментів для визначення впливу основних чинників на мікротвердість напрямника наведено у табл. 2.

Дев'ятий дослід на нульовому рівні передбачено як попередній для перевірення адекватності рівняння регресії і визначення коефіцієнта варіації мікротвердості. Число повторень у кожного досліді визначали за формулою

$$n = \frac{t^2 \cdot \nu^2}{P^2}, \quad (4)$$

де: t – значення критерію Стюдента, $t = 2,03$ для рівня значимості; $q = 0,05$ та числа ступенів свободи $f_y = N \cdot (n-1) = 9 \cdot (5-1) = 36$; ν – коефіцієнт варіації

одержаний для попередніх дослідів на нульовому рівні $\nu = 4,95\%$; P – точність дослідів прийняли не менше 5% .

Табл. 2. План-матриця ПФП-2³

№ досліді	Чинники у нормалізованому вигляді			Чинники у явному вигляді			Чинники у логарифмічній формі		
	x_1	x_2	x_3	P , Н	ν_s , м/хв	h , мкм	$\ln P$	$\ln \nu_s$	$\ln h$
1	-1	-1	-1	400	1	50	5,99	0	3,91
2	1	-1	-1	500	1	50	6,21	0	3,91
3	-1	1	-1	400	1,75	50	5,99	0,56	3,91
4	1	1	-1	500	1,75	50	6,21	0,56	3,91
5	-1	-1	1	400	1	850	5,99	0	6,75
6	1	-1	1	500	1	850	6,21	0	6,75
7	-1	1	1	400	1,75	850	5,99	0,56	6,75
8	1	1	1	500	1,75	850	6,21	0,56	6,75
9	0	0	0	447,2	1,323	206,2	6,1	0,28	5,33

Після розрахунку $n = 4,04$. Приймаємо $n = 5$ для всіх дослідів.

Для виключення системної помилки проводили рандомізацію дослідів за допомогою таблиці випадкових чисел. Досліди матриці планування (табл. 2) проводили у такій послідовності: 1, 3, 7, 4, 2, 5, 6, 8.

Результати проведених дослідів наведено у табл. 3.

Табл. 3. Результати проведених дослідів за планом ПФП-2³

№ досліді	Середнє значення мікротвердості		Дисперсія D	Середнє квадратичне відхилення σ , ГПа	Коефіцієнт варіації ν , %	Похибка середнього, m_0	Точність досліді P , %
	H_m , ГПа	$\ln H_m$					
1	3,235	1,173	0,0204	0,1428	4,42	0,0639	1,974
2	3,089	1,127	0,0261	0,1617	5,23	0,0723	2,340
3	4,029	1,392	0,0511	0,2259	5,61	0,1010	2,508
4	3,255	1,180	0,0207	0,1440	4,42	0,0644	1,979
5	2,953	1,081	0,0284	0,1684	5,70	0,0753	2,551
6	3,296	1,192	0,0167	0,1292	3,92	0,0578	1,753
7	3,611	1,283	0,0309	0,1757	4,87	0,0786	2,176
8	3,175	1,154	0,0188	0,1370	4,31	0,0613	1,930
9	3,361	1,211	0,0272	0,1649	4,90	0,0737	2,193

Після оброблення результатів досліджень одержали рівняння регресії у нормалізованому вигляді

$$y = 1,19784 - 0,03463 \cdot x_1 + 0,05446 \cdot x_2 - 0,02011 \cdot x_3 - 0,0507 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03015 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0135 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,009104 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (5)$$

Добуток критерію Стюдента на дисперсію коефіцієнтів рівняння регресії дорівнював 0,01571. Тому коефіцієнти a_{23} і a_{123} приймаємо як не значимі.

Перевірення адекватності рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера $F_p = 1,2$ і є меншим від табличного $F_T = 2,87$ для $f_{ad} = 3$, $f_y = 36$ і $q = 0,05$. Однорідність дисперсій дослідів перевіряли за критерієм Кохрена. Розрахункове значення критерію Кохрена $G_p = 0,16997$, табличне значення $G_T = 0,39$ для $f_y = 5-1=4$, $m = 8$, $q = 0,05$.

Для переведення рівняння регресії з нормалізованого у явний вигляд використали заміни:

$$x_1 = \frac{\ln P - \ln P_{(0)}}{\Delta_1}; \quad x_2 = \frac{\ln v_s - \ln v_{s(0)}}{\Delta_2}; \quad x_3 = \frac{\ln h - \ln h_{(0)}}{\Delta_3}.$$

де: $\ln P$, $\ln v_s$, $\ln h$ – значення логарифмів від сили притискування, швидкості подавання і глибини зміцнення; Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – інтервали зміни чинників.

Після розрахунків отримали рівняння регресії у явному вигляді

$$H_m = \frac{6,54336 \cdot v_s^{10,1041} \cdot P^{(-0,87241 - 1,6237 \cdot \ln v_s - 1,178232 \cdot \ln h)}}{h^{1,1782321}}. \quad (7)$$

Збільшення швидкості подавання v_s призводить до зростання мікротвердості по всій глибині поверхневого шару напрямника. На малих швидкостях незначна сила притискування призводить до зменшення мікротвердості нижче основного шару металу (рис. 2). Тільки на швидкостях більше 1,25 м/хв. спостерігаємо зростання мікротвердості. Збільшення глибини поверхневого шару призводить до зменшення мікротвердості напрямника на всіх швидкостях подавання. Це пояснюється тим, що нагрівання не поширюється на глибину більше ніж 1 мм (рис. 3).

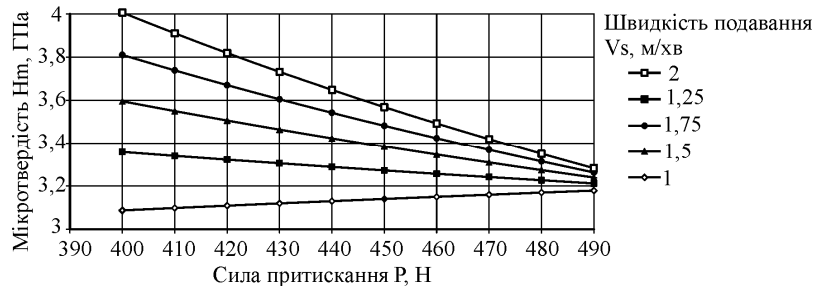


Рис. 2. Залежність мікротвердості на глибині 206,2 мкм від сили притискування і швидкості подавання

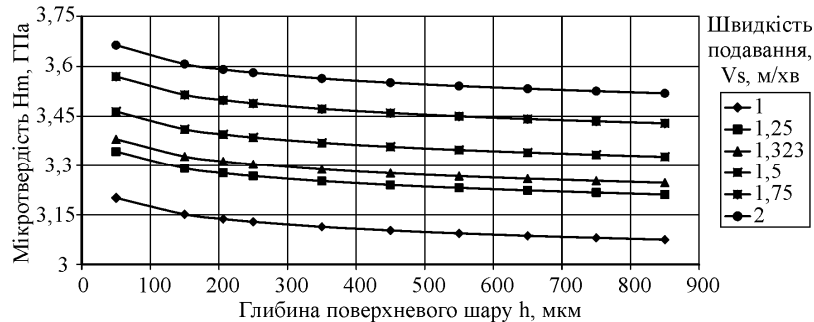


Рис. 3. Залежність мікротвердості H_m від глибини h і швидкості подавання V_s для сили притискування $P=447,2$ Н

Збільшення сили притискування фрикційного диска до поверхні напрямника призводить до зменшення мікротвердості (рис. 4). Це пояснюється тим, що

велика сила притискування прогріває всю товщину матеріалу і різкого охолодження не відбувається. Внаслідок цього поверхня не зміцнюється, а навпаки мікротвердість на поверхні стає меншою, ніж до зміцнення.

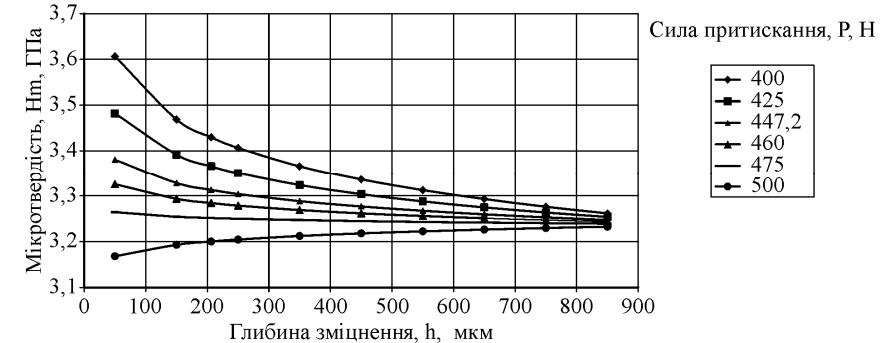


Рис. 4. Залежність мікротвердості від глибини зміцнення і сили притискування для постійної швидкості подавання $V_s=1,323$ м/хв

Швидкість подавання фрикційного диска за великих зусиль притискування $P = 500$ Н не призводить до збільшення мікротвердості поверхні напрямника (рис. 5). Але за менших зусиль притискування $P = 400$ Н підвищення швидкості від 1 до 2 м/хв веде до зростання мікротвердості в 1,3 раза. Це пояснюють тим, що за менших зусиль притискування виділяється менша кількість тепла і температура на поверхні напрямника значно менша.

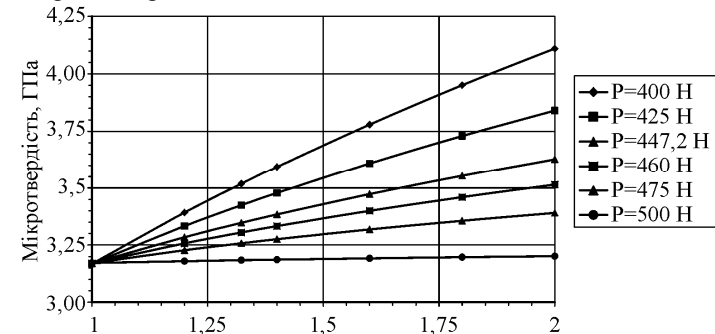


Рис. 5. Залежність мікротвердості від швидкості подавання і сили притискування на глибині 206,2 мкм

Аналіз рівняння регресії на екстремум показує, що екстремальних значень ця функція немає. Тому раціональним треба вважати режим зміцнення в межах що забезпечують технологічні можливості зміцнювальної установки без утворення напружень в напрямнику, що можуть призвести до його деформації і жолоблення.

Висновки. Вперше проведено дослідження процесу зміцнення циліндричної поверхні напрямника методом високошвидкісного сухого тертя. Отримано коефіцієнти рівняння регресії у вигляді степеневі залежності мікротвердості зміцненої поверхні від сили притискування фрикційного диска, швидкості

його подавання і глибини зміцненого шару. Аналіз цієї залежності показує, що режими зміцнення необхідно вибирати з врахуванням сили притискання в межах від 400 до 450 Н і швидкості подавання в межах від 1,25 до 1,75 м/хв. Мікротвердість поверхні напрямника збільшується в 1,3 раза.

Література

1. Гурей І.В. Підвищення довговічності напрямних технологічного обладнання фрикційним зміцненням / І.В. Гурей, І.А. Гурей // Вісник НУ "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 702. – С. 19-24.
2. Рудь А.Є. Підвищення ефективності роботи відцентрових стружкових верстатів зміцненням їх бил високошвидкісним тертям : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.04 / А.Є.Рудь; НЛТУ України. – Львів, 2009. – 21 с.

Войтович В.В., Шостак В.В. Упрочнение высокоскоростным трением направляющих ленточнопильного станка

Описаны результаты экспериментальных исследований. Получены уравнения регрессии, характеризующие зависимость микротвердости от усилия прижима и скорости подачи фрикционного диска. Показано влияние глубины поверхностного слоя на изменение микротвердости материала.

Ключевые слова: микротвердость, упрочнение, направляющая.

Vojtovich V.V., Shostak V.V. Surface hardening the high-speed friction of sending band-saw machine-tool

The results of experimental researches are described. Equalizations are got regressions, characterizing dependence of microhardness on effort of clamp and speed of serve of friction disk. Influence of depth of superficial layer is shown on a change microhardness of material.

Keywords: microhardness, surface hardening, sending.

УДК 539.37: 621.867

Ст. викл. Р.А. Ковальчук, канд. техн. наук;
асист. Х.А. Висоцька – НУ "Львівська політехніка"

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЛАНЦЮГІВ КОНВЕЄРІВ

Розглянуто результати аналізу напружено-деформованого стану ланцюгів конвеєра з прямими та зігнутими пластинами. Для цього побудовано тривимірні параметричні моделі ланок із шарнірами ланцюгів, методом скінченних елементів визначено напруження і деформації в деталях ланки, побудовано епюри еквівалентних напружень та деформацій в напрямку дії тягового зусилля. Визначено коефіцієнти жорсткості досліджуваних ланцюгів, проведено аналіз поверхневих напружень та деформацій, що виникають в місцях контакту елементів ланцюга.

Ключові слова: тяговий ланцюг, статичні навантаження, жорсткість, напруження, скінченно-елементна модель.

Вступ. У багатьох галузях промисловості та у сільському господарстві широко використовують ланцюгові конвеєри. Робота конвеєра характеризується значними динамічними навантаженнями його елементів як під час пуску, так і в процесі усталеного руху [8, 11]. Внаслідок нестатичності і передавального відношення ланцюгової передачі у привідній системі конвеєра виникають значні циклічні зусилля, які нерідко призводять до передчасного виходу з ладу елементів ланцюга [2, 9, 10]. Досліджено динамічні процеси в тягових елемен-

тах конвеєрів у багатьох працях відомих вчених [4-7, 11], проте проблеми аналізу напружено-деформованого стану ланцюгів та визначення їх коефіцієнтів жорсткості висвітлені не достатньо. Як показує аналіз відомих досліджень, напруження в елементах ланцюгів, зокрема в місцях шарнірних з'єднань ланок, і пов'язані з ними деформації мають істотний вплив на міцність та на довговічність ланцюгів.

Для всебічного дослідження динаміки ланцюгових конвеєрів важливим є правильне визначення усереднених коефіцієнтів жорсткості ланцюгів. Традиційно коефіцієнт жорсткості ланцюга одержують шляхом експериментального визначення абсолютної деформації декількох ланок, що перебувають під дією зусилля розтягу. На основі усередненого коефіцієнта жорсткості ланцюга визначають зведену жорсткість тягового органу конвеєра [3, 11]. Здебільшого цю задачу розв'язують експериментальним шляхом [11]. Однак, з розвитком інформаційних технологій, аналіз напружено-деформованого стану ланцюга стало можливим виконувати за допомогою методу скінченних елементів [1].

У цій роботі розглянуто результати комп'ютерних розрахунків напружень і деформацій елементів пластинчастого і роликового ланцюгів, виявлено місця концентрації напружень та обґрунтовано значення усереднених коефіцієнтів жорсткості ланцюгів.

Основний матеріал. Дослідження проводили на прикладі ланцюга горизонтального скребкового конвеєра продуктивністю 150 т/год і довжиною 30 м. Як тяговий елемент у конвеєра такого типу переважно використовують пластинчастий ланцюг. Пластинчасті тягові ланцюги поділяють на три типи за способом виконання – втулкові, роликові, коткові з гладкими котками і підшипниками кочення та коткові з ребордами на котках і підшипниками кочення. Кожен тип ланцюга виготовляють у трьох виконаннях, які мають певні конструктивні особливості: нерозбірний ланцюг зі суцільними валиками (індекс М), розбірний ланцюг зі суцільними валиками (індекс М), нерозбірний ланцюг з пустотілими валиками (індекс МС). Залежно від кроку, ланцюги поділяють на типорозміри.

Згідно з проектним розрахунком, тягове зусилля ланцюга цього конвеєра становить 12,3 кН. З урахуванням коефіцієнта запасу міцності ланцюга, який для конвеєрів такого типу приймають в межах $n=8\ldots 10$, визначаємо зусилля руйнування, за яким добираємо пластинчастий ланцюг типорозміру М-112 з кроком 100 мм згідно з ГОСТ-588-64 (рис. 1).

Аналіз напружено-деформованого стану та визначення жорсткості ланцюга цієї конструкції проводимо за допомогою методу скінченних елементів. З цією метою будуємо тверdotілу параметричну модель ланцюга М-112 у програмі Femap-Nastran. Спочатку створюємо моделі елементів ланки з шарнірним з'єднанням: пластинку, втулку, ролик, палець. Потім із цих елементів створюємо збірну модель ланцюга та задаємо характеристики матеріалу, статичні та кінематичні граничні умови. Для пластинок добираємо матеріал сталь 50, а для елементів шарнірного з'єднання – сталь 15. Сталь елементів ланцюга повинна забезпечувати необхідну твердість робочих поверхонь.