

ПАРАСКА Г.Б.

**СТАБІЛІЗАЦІЯ
НАТЯГУ НИТОК ОСНОВИ
В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН**

УДК 677.055
ББК 37.7
П18

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Хмельницького національного університету,
протокол № 4 від 23.11.2011*

Рецензенти:

- Б. Ф. Піна* – д-р техн. наук, проф., Засл. діяч науки і техніки України, Київський національний університет технологій та дизайну;
П. І. Чередніченко – д-р техн. наук, проф., Чернігівський державний технологічний університет

Матеріали подані в авторській редакції

Параска Г. Б.

П18 Стабілізація натягу ниток основи на в'язальних машинах : монографія / Г. Б. Параска. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 275 с. ISBN 978-966-330-139-6

Представлені наукові основи та інженерні методи проектування нових і удосконалених пристроїв стабілізації натягу ниток основи на в'язальних машинах, з метою підвищення ефективності, продуктивності та якості готових виробів.

Для науковців, фахівців галузі легкої промисловості, аспірантів і студентів ВНЗ.

УДК 677.055
ББК 37.7

ISBN 978-966-330-139-6

© Параска Г. Б., 2012
© ХНУ, оригінал-макет, 2012

Наукове видання

Параска Георгій Борисович

**СТАБІЛІЗАЦІЯ
НАТЯГУ НИТОК ОСНОВИ
НА В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИНАХ**

Монографія

Відповідальний за випуск: **В. С. Яремчук**

Художнє оформлення обкладинки: **О. С. Ванчурова**

Комп'ютерна верстка: **О. В. Чопенко**

Підписано до друку 9.12.2011

Формат 30×42/2. Папір офс. Гарн. Times New Roman

Друк різнографією. Ум. друк. арк. – 16,10. Обл.-вид. арк. – 15,40

Тираж 300. Зам. № 330/11

Віддруковано в редакційно-видавничому центрі ХНУ
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	3
Вступ	4

Розділ 1.

Аналіз проблеми та постановка задач дослідження

1.1. Стабілізація натягу ниток основи для нормалізації процесу в'язання	5
1.2. Класифікація пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ	17
1.3. Конструктивні особливості пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ	21
1.3.1. Пристрої стабілізації динамічного натягу ниток основи	22
1.3.2. Пристрої стабілізації середнього натягу ниток основи	28
1.4. Дослідження і методи проектування пристроїв стабілізації натягу ниток основи	33
Висновки	49

Розділ 2.

Моделювання роботи СННО в основов'язальному процесі

2.1. Математична модель натягу ниток основи ВМ	51
2.2. Аналіз особливостей дії ССННО на нитки основи	60
2.3. Аналіз особливостей дії СДННО на нитки основи	63
2.4. Вибір показника оцінки ефективності роботи ССННО	64
2.5. Вибір показника оцінки ефективності роботи СДННО	67
2.6. Розробка стенда для моделювання роботи СННО у системі заправки ниток основи ВМ	69
Висновки	73

Розділ 3.

Автоматизація схмотехнічного проектування СННО

3.1. Вибір системи автоматизованого проектування	74
3.2. Аналіз можливостей ППП ПРАНС-ПК при схмотехнічному проектуванні СННО	78

3.3. Моделювання СННО в системі ПРАНС-ПК	82
3.3.1. Модель системи “навій–нитки основи–відтяжний вал”	84
3.3.2. Модель системи “СДННО–нитки основи”	90
Висновки	95

Розділ 4.

Аналітичні дослідження пасивних СННО

4.1. Математична модель пасивних СННО	97
4.2. Розробка програми обчислення основних параметрів пасивних СННО	120
4.3. Дослідження ефективності роботи одномасових СННО	121
4.3.1. Стабілізація динамічного натягу ниток основи	121
4.3.2. Стабілізація середнього натягу ниток основи	124
4.4. Дослідження ефективності роботи двомасового СННО	125
4.4.1. Стабілізація динамічного натягу ниток основи	127
4.4.2. Стабілізація середнього натягу ниток основи	130
Висновки	131

Розділ 5.

Розробка високочастотних пасивних СДННО

5.1. Конструктивні особливості високочастотних СДННО	133
5.2. Аналітичні дослідження високочастотного СДННО	135
5.2.1. Математичне моделювання високочастотного СДННО	135
5.2.2. Розробка програми обчислень частоти власних коливань високочастотного СДННО	146
5.2.3. Числове моделювання високочастотних СДННО	146
5.3. Експериментальні дослідження високочастотних СДННО	149
5.3.1. Методика проведення досліджень	149
5.3.2. Обробка результатів експериментальних досліджень	151
Висновки	152

Розділ 6.

Розробка високоефективних вантажних ССННО

6.1. Вибір принципової схеми вантажного ССННО	153
6.2. Аналітичні дослідження статичних характеристик вантажного ССННО	156
6.2.1. Постановка задачі дослідження	156
6.2.2. Аналітичні залежності між робочими параметрами вантажного ССННО	160
6.2.3. Числові дослідження можливостей вантажних ССННО	166
6.3. Оптимізація параметрів силової дії вантажного ССННО на нитки основи	168

6.3.1. Постановка задачі оптимізації	168
6.3.2. Аналітичні залежності між робочими параметрами вантажного ССННО	169
6.4. Динамічні дослідження вантажних ССННО	177
6.4.1. Дослідження вантажних ССННО у режимі циклових коливань натягу ниток основи	177
6.4.2. Числові дослідження вантажних ССННО у режимі міжциклових коливань натягу ниток основи	182
6.5. Експериментальні дослідження вантажних ССННО	184
6.5.1. Методика проведення експерименту	184
6.5.2. Обробка результатів експерименту	186
Висновки	188
Розділ 7.	
Розробка комбінованих СННО	
7.1. Вибір принципової схеми комбінованих СННО	189
7.2. Аналітичні дослідження комбінованого СННО	191
7.2.1. Статичні дослідження комбінованого СННО	192
7.2.2. Динамічні дослідження комбінованого СННО	204
7.3. Експериментальні дослідження комбінованого СННО	214
7.3.1. Методика проведення експерименту	214
7.3.2. Обробка результатів експерименту	216
Висновки	218
Розділ 8.	
Дослідження перспективних конструкцій СДННО	
8.1. Ротаційні СДННО	220
8.1.1. Конструктивні особливості ротаційних СДННО	220
8.1.2. Оптимізація робочих параметрів ротаційних СДННО	222
8.2. Гідравлічні СДННО	223
8.2.1. Конструктивні особливості гідравлічних СДННО	223
8.2.2. Експериментальні дослідження гідравлічних СДННО	227
8.3. Пневматичні СДННО	231
8.3.1. Конструктивні особливості	231
8.3.2. Експериментальні дослідження пневматичних пристроїв стабілізації натягу ниток основи	233
8.4. Електромеханічні СДННО	236
8.4.1. Конструктивні особливості	236
8.4.2. Експериментальні дослідження двигунних пристроїв стабілізації натягу ниток основи	237
Висновки	241
Загальні висновки	243
Література	246

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВМ – в'язальна машина;
ОВМ – основов'язальна машина;
ВПМ – в'язально-прошивна машина;
СННО – стабілізатор натягу ниток основи;
ССННО – стабілізатор середнього натягу ниток основи;
СДННО – стабілізатор динамічного натягу ниток основи;
ППП – пакет прикладних програм;
САПР – система автоматизованого проектування;
ПРАНС-ПК – проектування автоматизоване неоднорідних систем-пакетів;
МТІ – Московський текстильний інститут;
КТІЛП – Київський технологічний інститут легкої промисловості;
РПІ – Ризький політехнічний інститут;
ІТК АН ЕРСР – Інститут телекомунікацій Академії наук Естонської Радянської Соціалістичної Республіки;
СБ – системна бібліотека.

ВСТУП

Розвиток легкої промисловості України пов'язаний з розробкою високоефективного, конкурентного обладнання, що забезпечує високу якість продукції, постійне розширення і оновлення асортименту, при скороченні витрат сировини.

Особливо швидкого зростання об'ємів високоякісної продукції можливо досягти в області основов'язального обладнання – основов'язальні і в'язально-прошивні машини. Швидкість в'язання деяких видів сучасних основов'язальних машин сягає 3000 петельних рядів за хвилину, завдячуючи практично необмеженим технологічним можливостям і області використання, ОВМ та ВПМ зайняли провідне місце у трикотажній промисловості, забезпечуючи третю частину світового виробництва трикотажних матеріалів.

Удосконалення ОВМ та ВПМ направлено, в основному, на зменшення обривності ниток основи, яка є достатньо високою, і підвищення рівномірності петельної структури, яка порушується при перехідних процесах, викликаних зупинкою і запуском машин, а також при спрацюванні навоїв.

Дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених, практика експлуатації основов'язального обладнання показали, що найбільш ефективним напрямом зменшення обривності ниток основи, підвищення рівномірності петельної структури є стабілізація натягу ниток основи як всередині циклу петлеутворення, так і від циклу до циклу.

Вирішення проблеми стабілізації натягу ниток основи гальмується відсутністю наукових основ та інженерних методів проектування пристроїв, що забезпечують ефективну стабілізацію натягу ниток основи для існуючого і проектного обладнання.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Стабілізація натягу ниток основи для нормалізації процесу в'язання

Отримання трикотажного полотна з визначеною структурою, зовнішнім виглядом і фізико-механічними властивостями при максимальній продуктивності обладнання є основною задачею процесу основов'язання. Її виконання неможливо без створення визначеного режиму натягу ниток основи – стабілізації натягу як всередині циклу петлеутворення, так і між циклами.

Теоретичною основою стабілізації натягу ниток основи є праці основоположника науки про процеси в'язання професора А.С. Далідовича [1–3], а також професорів Ф.А. Моїсеєнко [4–6], І.І. Шалова [7–9], А.А. Кудрявіна [7–9].

Значний вклад у дослідження питань впливу натягу ниток основи на процес основов'язання зробили В.М. Гарбарук, Б.С. Окс, В.А. Радзієвський, В.М. Бондар, О.М. Хомяк, В.Ю. Щербань, Б.А. Кузнецов, А.В. Чередніченко, В.П. Король, Л.М. Гераніна, О.В. Кононова, О.К. Тройнікова, В.В. Чабан, В.Г. Здоренко та інші [10–20]. Аналіз значної кількості результатів експериментально-теоретичних досліджень, наведених у цих роботах, показав значний вплив натягу ниток основи як на обривність, так і на рівномірність петельної структури – фактори, що визначають продуктивність в'язального обладнання та якість готових виробів. Доведено, що стабілізація натягу ниток основи всередині циклу петлеутворення (стабілізація динамічного натягу) позитивно впливає на зменшення обривності ниток основи, а стабілізація середнього натягу приводить до збільшення рівномірності петельної структури і зменшення видимості поперечних смуг.

Актуальними є дослідження причин обривності ниток основи в процесі в'язання на швидкісних основов'язальних машинах, виконані С.В. Бабинець [21]. У проведених дослідженнях показано, що обрив ниток основи, які виникли за рахунок обірваних елементарних волокон, проходить в основному на відрізку від вушкової до старої петлі і в більшості випадків під час прокладання ниток, при цьому натяг ниток за вушковою стає більшим їх міцності, в результаті чого відбувається обрив нитки.

Вплив низької якості ниток основи на їх обривність під час петлеутворення показано в роботі [22]. Також відмічений вплив значного натягу ниток основи на обривність, яка може бути викликана підвищеною швидкістю в'язання, неефективною роботою скального компенсуючого пристрою, зазорами в приводі навою, невідповідністю між швидкістю відтяжки полотна, величиною хода голки і роботою платин.

У роботах [4, 23, 24] розглянуті основні причини обривності ниток основи і запропоновані рішення щодо її зменшення. Показано, що основна причина підвищеної обривності ниток у процесі в'язання на ОВМ – наявність великої кількості обірваних елементарних волокон, які при багаторазовому переміщенні ниток відносно вушкови́н збиваються у важкопрохідні вузлики, що в подальшому призводить до обривності ниток. Автором зроблено висновок, що обривність ниток може бути суттєво зменшена, якщо будуть виключені або зменшені зворотно-поступальні переміщення ниток відносно вушкови́н. У запропонованому автором способі прокладання ниток основи [25] і його технічному рішенні [26] амплітуда коливань скала складає 71 %, а натяг ниток основи – 54 % відносно існуючого способу. В процесі експериментальної перевірки запропонованого прийому обривність ниток основи зменшилась у три рази, а коефіцієнт корисної дії машини збільшився з 0,78 до 0,85 %, у результаті чого продуктивність машини збільшилась на 9 % тільки за рахунок зменшення обривності ниток основи. Автор відмічає і зменшення видимості поперечних смуг.

У роботі [27] відмічено, що довжина ниток основи на відрізку “навій–зона петлеутворення” для більшості ОВМ досягає приблизно 1000 мм, а довжина нитки в петлі для більшості переплетень коливається від 2,5 до 4 мм. Виходячи з цього, автором показано [10, 15, 28–36], що при двох значимих амплітудах коливань натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення елементарна ділянка нитки при русі від навою до зони петле-

утворення буде сприймати 500–800 циклів навантаження; при трьох амплітудах [37] – 750–1200; чотирьох [38–40] – 1000–1600; при шести [41] – 1500–2400 циклів. Беручи до уваги результати досліджень В.І. Юркевічюса [42–43], у роботі [27] зроблено висновок, що процес обривності ниток основи потрібно розглядати з врахуванням теорії витривалості текстильних матеріалів.

У дослідженнях пряжі, що піддається багатоциклічним розтягненням, виконаних у МТГ під керівництвом М.С. Бородовського, встановлено що при збільшенні амплітуд розтягу витривалість пряжі знижується [44–46]. Так, зниження амплітуди відносного розтягу з 2 % до 1 % для бавовняної пряжі веде до збільшення витривалості у 30–70 раз, а для шерстяної пряжі – в 1,2 рази.

Дослідження на витривалість пряжі у процесі прядіння і ткацтва виконав М.М. Міловідов під керівництвом Г.М. Кукіна [47–50].

У роботі [47] показано, що довговічність ниток на багатоциклічні розтягнення змінюються залежно від навантаження або величини відносної деформації. Так довговічність бавовняної пряжі № 40 на багатоциклічні розтягнення при відносній деформації 2 % досягає 20–30 циклів, при відносній деформації 1 % – 700–1000 циклів. У роботі зроблено висновок, що в сукупності причин, які впливають на обривність ниток, необхідно враховувати явище втомленості, і цей фактор, на думку автора, є вирішальним.

У роботі [48] на основі експериментальних даних підтверджено зв'язок між витривалістю пряжі при багаторазових розтягненнях і обривністю ниток на ткацьких верстатах. Практична цінність показника витривалості розкрита в роботах [49, 50]. Так зменшення амплітуди відносного видовження в кожному циклі багаторазових розтягнень бавовняної пряжі всього на 0,25 % – з 1 % до 0,75 % приводить до збільшення витривалості в 80–120 разів.

Досліджуючи причини руйнування капронового волокна, автори [51] зробили висновок, що його руйнування при багаторазових механічних діях визначається розвитком макродефектів з наступним розривом малої кількості ланцюжків в одному перерізі.

Математичний опис процесу втомлення волокон представлено у роботі [52], в основу якого покладено припущення, що руйнування волокон від втомленості визначається головним чином розвитком макродефектів, що виникають у процесі втомлення. У результаті досліджень зроблено висновок, що трактування процесу втомлення з позиції привалювання розвитку макродефектів пред-

ставляється найбільш імовірним, при цьому математичний опис цього процесу підтверджується експериментальними даними.

До досліджень зміни міцності бавовняної пряжі відноситься робота [53], в якій зазначено, що зміна міцності нитки при багаторазових розтягненнях неоднакова на різних її ділянках. Найбільші зміни відбуваються в так званих “слабких” її ділянках, імовірність руйнування яких при втомленні багаторазово зростає; в “інших” багаторазові розтягнення змін практично не викликають.

Необхідність зменшення розмахів коливань натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення відмічено в роботах [54, 55]. Авторами показано, що чим більші розмахи коливань натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення, тим більше вони послаблюють нитки основи.

Аналіз довжини нитки в петлі [56] і результати дослідження системи подачі ниток [57] показали, що одним з найперспективніших шляхів стабілізації натягу ниток основи є ефективна компенсація деформації основи за рахунок удосконалення механізму скала або за рахунок використання принципово нового способу регулювання натягу. Одночасно це дозволяє знизити динамічні навантаження на нитки і зменшити їх обривність, що було підтверджено промисловими дослідженнями обертового скала [18, 58]. Так, впровадження пристрою з обертовим скалом на ОВМ “Кокетт-2” на фабриці “Рігас Адітайс” дозволило за рахунок зменшення обривності ниток основи зменшити вирізку полотна на 1,1 %.

Аналіз даних, наведених у роботі [59] свідчить, що при виробництві основов’язального полотна в об’ємі 5063,3 т вирізка полотна, обумовлена в основному обривністю ниток основи, складає 214,5 т або 4,2 %. Запропонована конструкція нитконатяжного пристрою пасивної дії з попередньо деформованими пружними елементами дозволила за рахунок підвищення ступеня стабілізації натягу ниток основи на 34 % зменшити об’єм вирізки на 18,5 % [60].

Актуальність проблеми стабілізації натягу ниток основи відображена в роботах О.К. Тройникової [19, 61], виконаних під керівництвом проф. Ф.А. Моїсеєнко. В роботах відмічено, що при високих швидкостях в’язання збільшуються розмахи коливань натягу ниток основи, що є одною з основних причин підвищення обривності ниток і зниження якості полотна. Результати досліджень показали, що одним з найбільш ефективних шляхів підвищення якості полотен і продуктивності ОВМ є нормалізація про-

цесу в'язання в напрямку стабілізації натягу ниток основи всередині кожного і між циклами петлеутворення.

Залежність обривності ниток основи від натягу досліджено в роботах [27, 62]. Виробничі випробовування ротаційного нитко-натяжного пристрою, що забезпечує при швидкості в'язання 1140 петельних рядів за хвилину ступінь стабілізації близько 68–73 %, показали, що за рахунок зменшення обривності ниток основи, продуктивність ОВМ підвищилась в 1,5 рази [63].

Значна кількість ниток, задіяних у процесі ткацтва є нитками основи, де проблема їх обривності є однією з найбільш актуальних. Тому фундаментальні дослідження зі зменшення обривності ниток основи в процесі ткацтва викликають інтерес при аналізі причин їх обривності при в'язанні.

Вплив багатоциклових розтягів на обривність ниток в комплексі зі стиранням розглянуто в роботі Л.Т. Золотаревського [64]. Автором визначено особливості процесу стирання ниток основи в процесі ткацтва:

- багаторазові розтяги на ткацькому верстаті не можуть знижувати середню міцність ниток основи внаслідок малої циклічної деформації;

- багаторазові розтяги з циклічною деформацією нижче межі витривалості не знижують міцності пряжі, але суттєво зменшують її стійкість до стирання;

- багаторазові розтяги з циклічною деформацією нижче межі витривалості прискорюють зниження міцності пряжі під дією стирання, при цьому при зростанні циклічної деформації зниження міцності прискорюється;

- зниження стійкості до стирання прискорює зниження міцності під дією стирання; особливо значний вплив цього фактора при малих деформаціях (0,4–0,8 %), тобто в області деформацій основи та ткацькому верстаті;

- стійкість до стирання слабкого на розрив відрізка пряжі знижується вже тому, що при розтягуванні затиснуті в ньому волокна отримують відносно більші напруження.

У роботі визначені основні напрями зниження обривності ниток – зменшення стирання пряжі і амплітуди коливань натягу ниток при їх багатоциклових розтягах у процесі переробки.

У роботі [65] зазначено, що однією з основних причин обривності ниток основи в жакардовому ткацтві є ослаблені місця в

нитці, що виникають в результаті дії процесу стирання і розтягнення ниток.

Можливість зменшення обривності ниток основи за рахунок формування оптимального натягу ниток показано в роботах [66–68], де відмічена необхідність зменшення пікових навантажень в процесі зівоутворення, а також зменшення стирання ниток основи.

Вплив динамічного натягу ниток основи на зміну їх структури і обривність досліджено в роботі [69]. Показано вплив швидкісного режиму на зміну динамічного натягу ниток основи і обривність.

Можливість зниження обривності ниток основи шляхом оптимізації натягу ниток основи відмічена в роботі [70], при цьому запропоновано конструктивне рішення, що дозволяє знизити динамічні навантаження на скало і розширити можливості регулювання натягу ниток основи. Для цього рекомендовано ввести в конструкцію основних регуляторів демпферну систему.

У роботі [71] розглянута можливість підвищення продуктивності ткацьких верстатів за рахунок скорочення часу зупинок при ліквідації обривів ниток. Повідомляється, що ряд фірм проводять конструктивні розробки пристроїв та роботизованих систем для зв'язування ниток основи.

Дослідження показали, що циклові зміни натягу ниток основи на ткацькому верстаті є однією з основних причин їх обривності в процесі ткацтва [72]. Зменшення розмахів коливань натягу ниток основи приводить до зниження їх обривності. Для покращення загального режиму натягу ниток основи рекомендовано підвищити ступінь погодження дій у часі механізмів основного регулятора, зівоутворення і прибою.

Одною з основних умов створення процесу ткацтва, в якому відсутня обривність, автор [73] бачить в оптимізації параметрів заправки ниток основи.

У роботах Б.І. Геценко відмічено, що на ткацьких станках причиною 80 % простоїв є обривність ниток [74–76]. На основі проведених досліджень автор робить висновок [74], що обривність ниток основи на ткацькому станку проходить головним чином за рахунок пікових навантажень, а максимальне зниження обривності ниток можливе при значному зменшенні кількості дефектів у них.

У роботі [77] показано, що стан натягу ниток основи є одною з основних причин обривності. Доведено, що підвищення натягу ниток основи, як і пониження відносно оптимального значення приводить до збільшення обривності. Обривність при пониженому

натягу пояснюється порушенням технологічного процесу формування петель.

Позитивний вплив зниження розмахів коливань натягу ниток основи на зменшення їх обривності відмічено в роботах [78–82], які розглядають умови переробки ниток на ткацьких верстатах.

При застосуванні модернізованого регулятора за рахунок зменшення різниці між максимальним і середнім значеннями натягу ниток від 4,9 сН до 0,5 сН при заступі від 20,2 сН до 10,8 сН при прибої, у процесі виготовлення тканини “Лазуріт” арт. Н–2847 обривність ниток основи зменшено на 12,5 % [79].

Удосконалення системи основного регулятора ткацького верстата забезпечило зменшення коливань натягу ниток основи на 38,6 %, що позитивно вплинуло на умови формування тканини [80]. Так, обривність основних ниток зменшилась в середньому на 37 %. Позитивний вплив модернізованого основного регулятора на витривалість пряжі відмічено в роботі [81].

Модернізація механізму рухомої системи скала ткацького верстата АТ–100–5М дозволила знизити обривність основи в середньому на 16 % [82]. Показано, що такий результат досягнуто за рахунок підтримування сталості статичного натягу ниток основи за весь період спрацювання основи з навоїв.

У роботі [83] відмічено одночасне збільшення обривності і натягу основи по глибині технологічної заправної лінії обладнання, при цьому максимальні значення відмічено в робочій зоні. Така залежність підтверджує вплив натягу ниток основи на їх обривність.

У роботах засновника теорії в’язання А.С. Далідовича вказано, що натяг ниток основи має визначальний вплив на довжину нитки в петлі, і навіть незначне його відхилення призводить до отримання петель різної довжини [1–3].

У роботах [4, 84] відмічено, що важливим і найбільш складним фактором, що впливає на розміри петель і структуру полотен основ’язальних переплетень є натяг ниток основи. Складність фактора обумовлюється взаємним впливом натягу ниток різних основ.

Фундаментальні дослідження впливу натягу ниток основи на рівномірність петельної структури були виконані в Київському технологічному інституті легкої промисловості [30–35]. В результаті досліджень встановлено причинний зв’язок явищ, що обумовлюють появу поперечних смуг, який автори представили у вигляді схеми (рис. 1.1), де стрілками вказаний напрям дій. Вплив швидкості машини на роботу механізмів подачі і натягу ниток основи

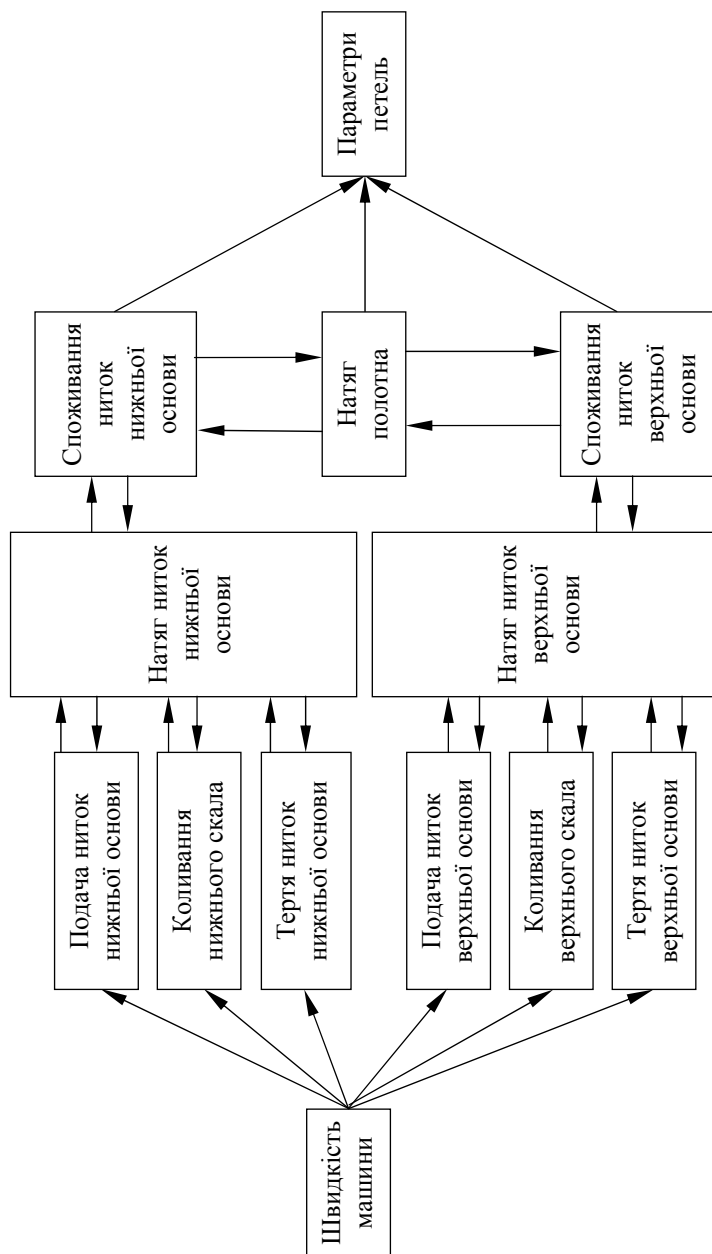


Рис. 1.1. Схема причинних зв'язків факторів, що викликають поперечну смугастість осноров'язального полотна

проявляється в зміні коливань скала і подачі ниток основи, які обумовлені дією інерційних сил і сил пружності, сил тертя і зазорів у ланках цих механізмів, що, на думку авторів, приводить до зміни натягу ниток основи і, як результат, до зміни параметрів петельної структури трикотажу. Виходячи з встановленого причинного зв'язку, авторами запропоновано спосіб суттєвого зменшення видимості поперечних смуг за рахунок активної стабілізації середнього натягу ниток основи.

Поперечна смугастість, що утворюється при зупинці і пуску машини, є результатом зміни натягу ниток основи відносно їх натягу в сталому режимі роботи – такий висновок зроблено в роботах [85–87] і підтверджено низкою експериментів. Поступове зменшення натягу ниток основи шляхом натискування на підскальні пружини в момент зупинки машини привело до утворення нормальних або збільшених петель [85]. Більш складні системи примусової дії на нитки основи в період пуску і зупинки ОВМ, за рахунок стабілізації натягу ниток основи, дозволили суттєво зменшити видимість поперечних смуг [87].

Цикл досліджень впливу характеристик процесу подачі ниток і натягу ниток основи на петельну структуру основов'язального трикотажу виконані В.П. Король під керівництвом проф. Ф.А. Мойсеєнко [16, 88–92]. Встановлено, що нерівномірність параметрів петель трикотажу основов'язальних переплетень залежить від багатьох факторів: нерівномірність натягу окремих ниток при снуванні та сході з навою; конструкція та параметри нитконатяжного пристрою; нерівномірне зношення петлеутворювальних органів машини.

Дослідження впливу натягу ниток основи на довжину основов'язальної петлі відображені в роботах [89, 90]. На цій основі у роботі [89] зроблено низку висновків:

- вплив натягу ниток основи і полотна на довжину петлі мають подібний характер;
- при забезпеченні сталості натягу ниток і полотна зупинка машини не призводить до утворення поперечних смуг на полотні.

До досліджень впливу зміни натягу основ всередині циклу петлеутворення на довжину петлі відноситься робота [94]. Встановлено, що протягом останніх $1/8$ – $1/4$ частин циклу петлеутворення (після скидання петлі) натяг ниток основи і полотна має вирішальний вплив на довжину основов'язальної петлі. На інших етапах петлеутворення натяг ниток основи практично не впливає на дов-

жину петлі. Для забезпечення заданої довжини петлі достатньо контролювати натяг ниток основи і полотна тільки на заключному етапі з метою зниження обривності ниток і забезпечення нормалізації процесу в'язання.

Вплив значення натягу ниток основи на довжину сформованих петель досліджено в роботах [95, 96], де відмічено, що незалежно від способу подачі ниток, у міру спрацювання основи, заправний натяг постійно збільшується. Встановлено, що на зміну величини заправного натягу впливає видовження ниток основи по лінії заправки, а також зміна кута обхвату нитками напрямних прутків. Зміна натягу ниток однієї з основ суттєво впливає на зміну натягу другої основи. В результаті експериментальних досліджень показано, що при зміні натягу ниток основи від нуля до максимуму, рівного 120 сН, в зоні “навій–скало” довжина петель, утворених з ниток верхньої основи, змінювалась за рахунок перетягування ниток на 45,5 %. При цьому перетягування ниток з петель, що регулюється нижньою основою, склало 79 %. Величина маси 1 м² сурового полотна змінювалась у загальному випадку від 138 г до 174 г. Автор зробив висновок про необхідність оснащення ОВМ самоналагоджувальними системами, що автоматично підтримують заданий режим натягу і подачі ниток основи.

Про рівень впливу натягу ниток основи на довжину петель свідчить те, що довжина петель і висота суміжних петельних рядів суттєво відрізняються одна від одної при зміні кутів обхвату нитками вушковин залежно від напрямку зсуву, що відмічено в роботах [16, 21, 97–101]. На основі аналізу циклограми споживання ниток і зразків полотен автори робіт [16, 99] прийшли до висновку, що при зсуві гребінки вправо, споживання ниток основи більше, ніж при зсуві гребінки вліво, і що висота петельного ряду також більша при зсуві гребінки перед голками вправо.

У роботі [4] відмічено, що аналіз і проектування процесу петлеутворення на ОВМ не можуть бути глибоко обґрунтовані без врахування змін, які відбуваються як в самому процесі, так і в структурі трикотажу залежно від напрямку зсуву гребінок відносно голечниці і величини натягу ниток основи. При аналізі процесу петлеутворення на ОВМ автор виходить з наступних положень:

1. Процес петлеутворення на ОВМ проходить зазвичай з перетягуванням ниток вже зі створених (старих) петель, що приводить до зменшення останніх. Ступінь перетягування ниток зі ста-

рих петель залежить від співвідношення величин заправного натягу ниток основи і сили відтяжки полотна.

2. Основов'язальному процесу петлеутворення притаманні властивості саморегулювання або самовирівнювання, а процеси регулювання довжин петель пов'язані зі зміною натягу ниток основи і силою відтяжки полотна, які взаємопов'язані.

3. Натяг нитки збільшується в результаті огинання нею гра-ней вушкови́ни як при проходженні через вушко в зону петлеутворення, так і при відтягуванні її із цієї зони в зону компенсації.

Особливості взаємодії між натягом ниток основи і силою відтяжки полотна відображені в роботах [38, 39, 104–106], виконаних під керівництвом проф. В.М. Гарбарука. Отриманий вираз наближено визначає умову зберігання довжини петлі основов'язального полотна під дією сил відтяжки полотна і натягу ниток [39]. Експериментальні дослідження, виконані на ОВМ “Кокетт–2” показали, що зміна натягу ниток основи здійснює вплив на силу відтяжки полотна при малих значеннях, тоді як зміна сили відтяжки полотна впливає на натяг ниток основи при значних зусиллях відтяжки.

Вплив прогину стрижня ниткового компенсатора по ширині заправки на натяг ниток основи на рашель-машині описано в [105]. Показано, що на краях заправки натяг ниток менший, ніж у середині. Цим пояснюється різна щільність полотна по ширині заправки. Запропоновано підвищити жорсткість скала за рахунок використання тонкостінних трубчастих стрижнів.

Зміна натягу ниток основи на ОВМ при змотуванні з навою досліджено в роботі [106]. Відмічено, що за рахунок зменшення радіуса навою при змотуванні з нього ниток з постійною лінійною швидкістю, новій буде обертатися з деяким прискоренням. В результаті нитки отримають додатковий інерційний натяг у міру зменшення діаметра навою, а щільність основов'язального полотна при змотуванні ниток з навою збільшиться.

У роботі [107], використовуючи дисперсійний аналіз, досліджено вплив натягу ниток основи і сили відтяжки полотна на довжину нитки в петлі. Встановлено переважаючий вплив натягу ниток основи на довжину нитки в петлі.

Деякі особливості впливу натягу ниток основи на процес петлеутворення відображені в аналітичних дослідженнях [56, 108–111].

Формула для розрахунку довжини нитки в петлі враховує зміну натягу ниток протягом всього циклу петлеутворення [56]:

$$l_n = EF \int_0^{2\pi/\omega} \frac{\sum_{j=1}^{\infty} j\omega A_{jn} \cos(j\omega t + \varphi_{jn})}{A_{OH} + \sum_{j=1}^{\infty} A_{jH} \sin(j\omega t + \varphi_{jn}) + EF} dt, \quad (1.1)$$

де E – модуль пружності нитки;

F – площа поперечного перерізу нитки;

ω – кутова швидкість головного вала машини;

A_{jn} ; φ_{jn} – амплітуда і фаза j -ї гармоніки вживання нитки;

A_{OH} ; A_{jH} ; φ_{jH} – стала складова, амплітуда і фаза j -ї гармоніки натягу ниток основи.

Запропонована формула дозволяє більш достовірно описати характер зміни довжини нитки в петлях основов'язального полотна.

Вплив натягу ниток основи на процес петлеутворення аналітично описано в [111]. Вираз опису процесу руху ниток основи в зону петлеутворення враховує натяг ниток, коефіцієнт спрацювання, а також швидкість намотування готового полотна.

У роботах [18, 19, 112] представлено результати практичної реалізації підвищення рівномірності петельної структури за рахунок стабілізації натягу ниток основи на основов'язальних машинах.

Стабілізація параметрів основов'язальних полотен за рахунок використання технічних засобів і електронної системи контролю процесів в'язання запропонована в роботі [112]. В основу спроектованих пристроїв покладено вимогу забезпечення високої точності підтримки сталості середнього натягу ниток основи на основов'язальних машинах.

Використання ротаційного скала дозволило за рахунок стабілізації натягу ниток основи зменшити нерівномірність петельної структури [18, 58]. Так, при коловій швидкості вала, що більш, ніж у два рази перевищувала максимальну швидкість вживання ниток основи, коефіцієнт варіації зменшився: при сталому русі основов'язальної машини – в 1,7, пуску – в 1,3, зупинці – в 1,2 рази.

Результати експериментальних досліджень [19] показали, що використання нової конструкції нитконатяжного пристрою [61] забезпечує достатньо високу рівномірність петельної структури трикотажу, що був вироблений при швидкостях більших 1000 петельних рядів на хвилину. Досліджена петельна структура в поперечній смузі полотна, що утворилася при зупинці–запуску ОВМ для ста-

лих режимів роботи машини на швидкостях 840 і 1025 петельних рядів на хвилину з використанням нової конструкції нитконатяжного пристрою і пристрою заводу-виготовлювача машини “Кокетт–2” моделі 5219. Отримані числові характеристики рівномірності петельної структури в поперечній смузі показали, що величини кроку і висоти петель полотна, виробленого в режимі “зупинка–запуск машини” з використанням нової конструкції нитконатяжного пристрою, практично не відрізняються від тих параметрів полотна, що було вироблено в сталому режимі роботи. А рівномірність петельної структури на ділянці поперечної смуги, виробленої з використанням нитконатяжного пристрою машини “Кокетт–2”, в 1,3–2 рази нижча рівномірності петельної структури полотна, виробленого в сталому режимі роботи машини.

Значне зменшення видимості поперечних смуг при використанні високочастотного скала [113] відмічено в роботах [4, 12]. Так при одночасному використанні високочастотного скала і пристрою фіксації зупинки в режимі гальмування повністю ліквідується поперечна смугастість при швидкості машини 600 об./хв (7,2 % смуг ледве видимі і не впливають на сортність полотна) і усувається 61 % поперечних смуг, що знижують сортність полотна, при швидкості машини 720 об./хв.

Аналіз досліджень в області переробки ниток основи в полотно, тканину, нетканий матеріал тощо показав, що стабілізація:

– середнього і динамічного натягу ниток основи дозволяє суттєво зменшити їх обривність і підвищувати продуктивність обладнання;

– середнього натягу ниток основи приводить до підвищення рівномірності петельної структури і якості готових виробів.

1.2. Класифікація пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ

Аналіз конструкцій ВМ [10, 114–116] показує, що з метою стабілізації натягу ниток основи, на машинах встановлюються пристрої, що отримали в деяких роботах різні назви – скало [10, 116, 117], ниткопритягач-компенсатор [118], компенсатори натягу ниток основи [119–121], нитконатяжні пристрої [12, 122, 123], регулятори натягу ниток основи [124, 125], стабілізатори натягу ни-

ток основи [126]. Виходячи з перерахованих назв, найбільш точно і повно основному призначенню відповідає назва – стабілізатор натягу ниток основи. В подальшому цю назву використано в роботі як базову.

У процесі вдосконалення в'язального обладнання покращувались і конструкції СННО. Процес і тенденції удосконалення СННО розглянуто в роботах [12, 89, 119, 122, 126–128] у формі аналізу і класифікації відомих пристроїв.

Конструктивною особливістю перших зразків СННО було використання пружного елемента у вигляді циліндричної пружини і наявність кінематичного зв'язку з механізмом подачі ниток основи [89]. Удосконалення СННО відбувалося шляхом зменшення інерційності рухомих елементів стабілізатора і заміни кінематичного зв'язку з механізмом подачі ниток основи на функціональний (електричний). У роботі [62], за аналогією з системами подачі ниток ВМ [11], запропонована класифікація СННО за принципом дії на активні, пасивні, комбіновані і далі за конструктивними особливостями.

В основу більшості конструкцій пасивних СННО покладено пружний елемент [12, 122]. У періоди інтенсивного вживання ниток основи скало під дією зростаючої сили натягу ниток рухається в бік петлеутворювальних органів, долаючи сили опору пружного елемента і тим самим зменшується зростання натягу ниток основи. В періоди, коли в зоні петлеутворення утворюється надлишок ниток і їх натяг зменшується, скало під дією деформованого пружного елемента переміщується у протилежний від зони петлеутворення бік, і тим самим зменшує падіння натягу ниток основи.

Характерною особливістю активних СННО є те, що елемент їх конструкції, безпосередньо контактуючий з нитками основи (скало), переміщується по наперед заданому закону, що забезпечує зменшення розмахів коливань натягу ниток основи.

Особливістю комбінованих СННО є те, що вони працюють одночасно за принципом як активних, так і пасивних СННО, при цьому можуть виконувати функції СДННО та ССННО.

Класифікація СННО з врахуванням тенденцій розвитку технічних систем [129–139] запропонована в роботі [121]. На базі цієї класифікації було створено ряд принципово нових СННО – гідравлічних [140–142], пневматичних [143], електромеханічних [144, 145].

Варіант розширеної класифікації пасивних СННО запропоновано в роботі [119] (рис. 1.2).

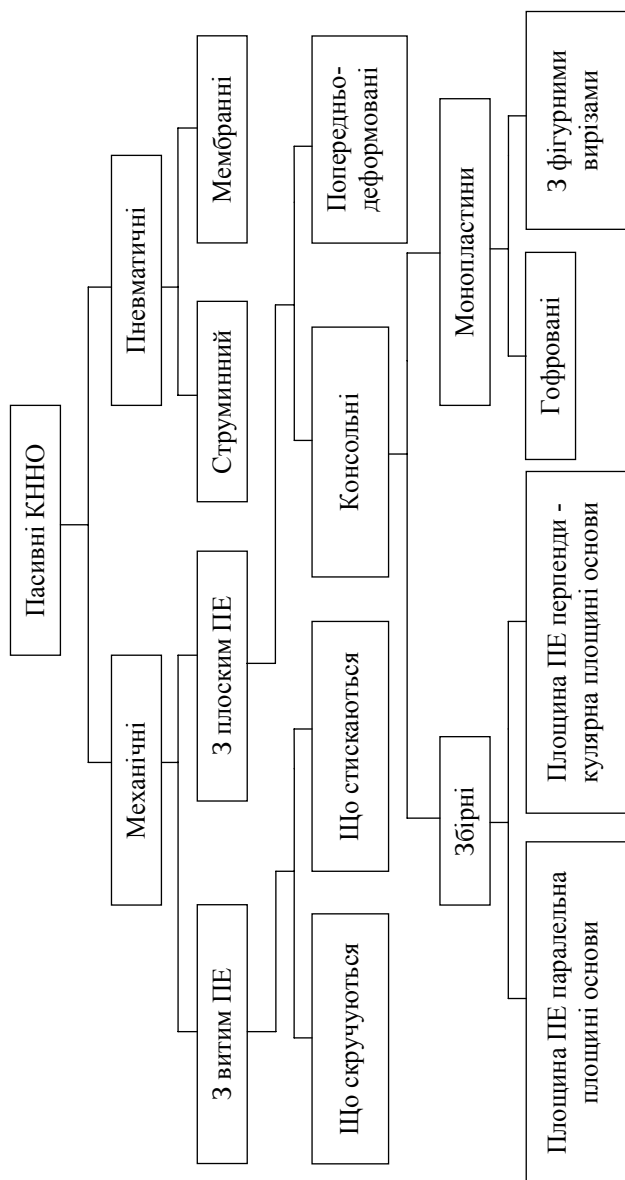


Рис. 1.2. Класифікація компенсаторів натягу ниток основи в'язальної машини (ПЕ – пружний елемент)

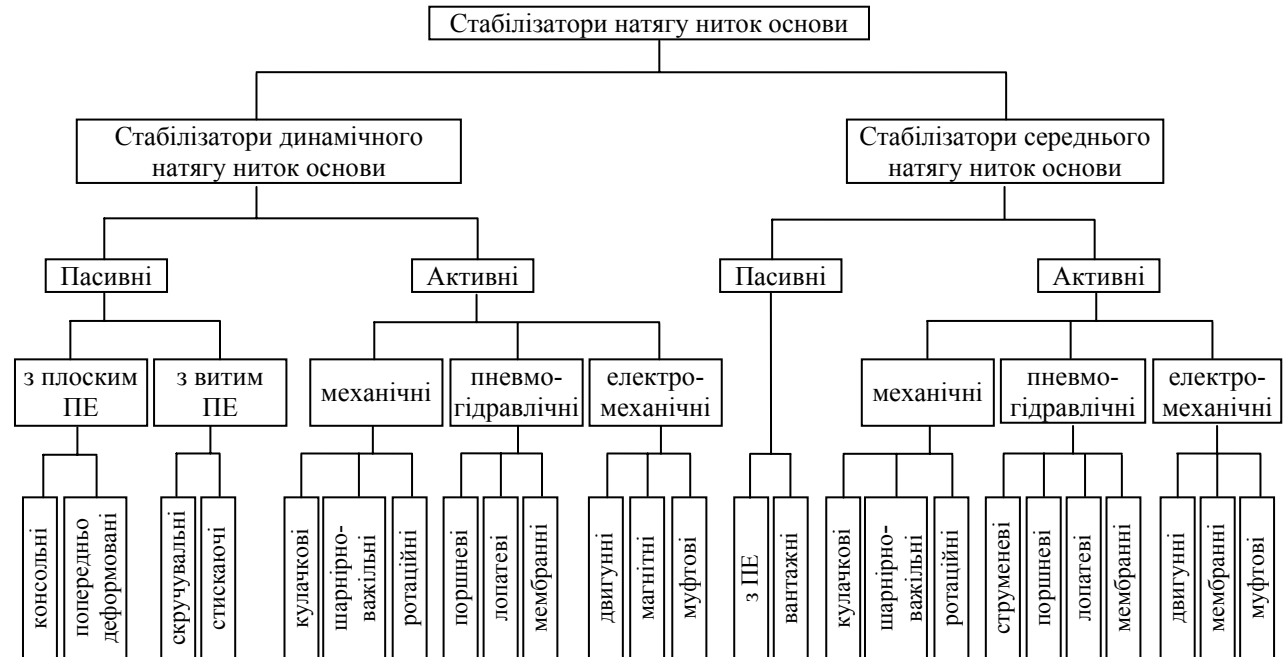


Рис. 1.3. Класифікація стабілізаторів натягу ниток основи
(ПЕ – пружний елемент)

Аналіз запропонованої класифікації показав, що вектор удосконалення пасивних СННО спрямовано в бік зменшення приведеної до скала маси рухомих елементів стабілізатора і оптимізації взаємного розміщення основних елементів СННО.

Трирівнева класифікація СННО запропонована в роботі [126] (див. рис. 1.3). На першому рівні СННО розділені за призначенням на стабілізатори динамічного натягу ниток основи (СДННО) і стабілізатори середнього натягу ниток основи (ССННО). Такий варіант розподілу базується на результатах досліджень пружних систем заправки в'язальних машин [18, 19, 27], а також на результатах досліджень пружних систем заправки ткацьких верстатів [146–157].

Аналітичні дослідження [27, 126] пружних систем заправки ниток основи ВМ показали можливість, використовуючи принцип “суперпозиції” [102], представити поточне значення натягу ниток основи як суму середнього і динамічного натягу ниток основи.

На другому рівні запропонованої класифікації, СННО виділені пристрої активної і пасивної дії. Доцільність такого поділу була доведена [27, 62]. На третьому рівні класифікації поділ СДННО і ССННО виконано за конструктивними ознаками, з врахуванням тенденцій розвитку технічних систем [129–139]. Класифікація передбачає можливість подальшого поділу СДННО і ССННО за конструктивними ознакам, що було зроблено в роботі [119].

Аналіз відомих схем класифікацій пристроїв стабілізації натягу ниток основи в'язальних машин показав, що трирівнева класифікація, що враховує функціональне призначення, принцип дії і конструктивні особливості, є найбільш повною і дозволяє врахувати тенденції удосконалення СННО, при цьому розширює поле нових конструктивних рішень.

1.3. Конструктивні особливості пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ

Аналіз конструктивних особливостей стабілізаторів натягу ниток основи виконано за трирівневою класифікацією (див. рис. 1.3) з врахуванням етапності їх удосконалення [126]. При аналізі розглянуто і найбільш перспективні конструкції СННО ткацьких верстатів, принцип дії яких близький до принципу дії СННО ВМ.

1.3.1. Пристрої стабілізації динамічного натягу ниток основи

Характерною особливістю пасивних СДННО є використання в основі конструкції пружного елемента. В перших зразках пасивних СДННО (рис. 1.4, *a*) в якості пружних елементів використано циліндричну пружину 4, що з'єднана з важелем 3, на одному кінці якого закріплено скало 2, охоплене нитками основи 1, а інший кінець важеля 3, через тягу 5 кінематично з'єднаний з механізмом подачі ниток основи [12, 88]. Кінематичне з'єднання СДННО з механізмом подачі ниток суттєво збільшує інерційність стабілізатора і веде до дестабілізації динамічного натягу ниток основи при збільшенні швидкості в'язання [88].

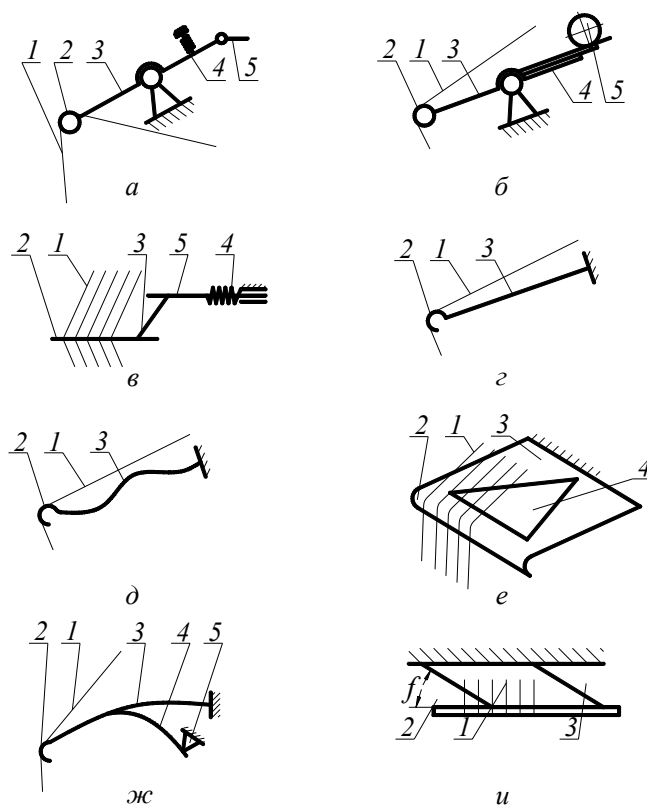


Рис. 1.4. Пасивні стабілізатори динамічного натягу ниток основи

Удосконалення пасивних СДННО відбувалося шляхом заміни кінематичного зв'язку з механізмом подачі ниток основи на функціональний (електричний, електронний та інші) та заміни циліндричних пружин плоскими пружними пластинами. Так пасивний СДННО осноров'язальної машини "Кокетт-2" моделі 5219 (рис. 1.4, б) містить, охоплене нитками основи 1, скало 2, закріплене на кінці важеля 3, на іншому кінці якого закріплено пакет плоских пружин 4, зафіксованих упором 5 [114]. Використання пакета плоских пружин дозволило збільшити коефіцієнт згасання, тим самим зменшилась імовірність виникнення резонансних явищ при високих швидкостях в'язання.

В конструкції (рис. 1.4, в) пасивного СДННО в'язально-пршивної машини "Арахне" циліндрична пружина 4, зафіксована на осі 5, працює на скручування [15]. Таке з'єднання робить конструкцію стабілізатора компактною, але на інших ВМ воно широкого використання не знайшло.

Для зменшення інерційності пасивних СДННО в ряді конструкцій (рис. 1.4, г) пружний елемент – плоска пластина 3 закріплена як консоль, а на вільному кінці зафіксовано скало 2, що огинається нитками основи 1 [158–161]. Для фіксації на пластині скала 2 в стабілізаторах використовують різні кріпильні елементи, що підвищують інерційність всього стабілізатора.

Більш раціональний варіант з'єднання консольних пружних пластин зі скалом було запропоновано В.А. Радзівським (рис. 1.4, д), де вільний кінець консольної монопластини 3 дещо заокруглено і є скалом 2, що огинається нитками основи 1 [113]. Для корегування частотних характеристик консольна пластина 3 може бути гофрована в поперечному напрямку.

Суттєве підвищення частоти власних коливань (рис. 1.4, е) пасивних СДННО за рахунок виконання наскрізних фігурних вирізів 4 в монопластині 3 запропоновано в роботах [162, 163]. Особливість наскрізних вирізів полягає в тому, що вони не суттєво зменшують жорсткість монопластини при суттєвому зменшенні приведеної до скала маси. За рахунок цього частота власних коливань збільшується на 25–35 % [162].

Відомий ряд конструкцій пасивних СДННО, де пружний елемент попередньо деформований [60, 164–167, 169–171]. На думку авторів, попередня деформація пружного елемента дозволяє оптимізувати коефіцієнт згасання і за рахунок цього підвищити ступінь

стабілізації динамічного натягу ниток основи. Для попереднього деформування пружного елемента 3, 4 (рис. 1.4, ж) використано упор 5, який дозволяє регулювати рівень деформації [171].

Принципово новий варіант взаємного розміщення скала 2 і пружних пластин 3 запропоновано в конструкції пасивного СДННО (рис. 1.4, и) [172]. Його особливість полягає в тому, що консольні пружні пластини 3 зафіксовані в паралельних площинах, направлених до осі скала під кутом. Дослідження показали, що використання запропонованого СДННО дозволяє на 20–25 % підвищити ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи на ОВМ моделі “Кокетт” [173–175].

Особливістю активних СДННО (рис. 1.5) є те, що елемент їх конструкції (скало), який безпосередньо контактує з нитками основи, рухається за наперед заданим законом [62].

Конструктивно найбільш простими є кулачкові СДННО [176–179]. При обертанні кулачок 4 (рис. 1.5, а) через важіль 3 приводить в рух скало 1, що огинається нитками основи 2. Профіль кулачка розраховано таким чином, що переміщення скала приводить до стабілізації натягу ниток основи. Застосування в конструкції СДННО кулачка обмежується використанням пристрою по швидкості. Згідно з дослідженнями В.Н. Гарбарука, робочі швидкості в’язальних машин, що включають кулачкові механізми, не перевищують рівень 850–900 петельних рядів за хвилину [10].

Для приведення в рух скало, в низці СДННО, застосовано шарнірно-важільні механізми, при цьому в деяких стабілізаторах ведуча ланка шарнірно-важільного механізму з’єднана з головним валом [180, 181], а в інших – з веденими ланками робочих органів [182–185]. На рис. 1.5, б представлена схема чотириланкового СДННО ОВМ [180], що забезпечує стабілізацію натягу ниток основи в період прокладання. В інші моменти петлеутворення стабілізацію натягу ниток основи забезпечує пасивний СДННО.

Для розширення часових меж стабілізації натягу ниток основи збільшують кількість ланок СДННО або їх ведучі ланки з’єднують з одним або декількома веденими ланками приводів робочих органів. В СДННО ОВМ (рис. 1.5, в), скало 1 через шарнірно-важільний механізм кінематично з’єднано з веденими ланками голечниці 5 і вушковими голками 3 [182]. Стабілізатор дозволяє з достатньою точністю забезпечувати необхідну траєкторію руху скала, однак відносна його складність обмежує широке використання на сучасних ОВМ.

Конструктивно значно простішими, при високій ефективності роботи, є ротаційні СДННО. Стабілізатори, встановлені на ткацьких верстатах (рис. 1.5, з), виконані у вигляді ромбоподібного вала 1, охопленого нитками основи 2 [186, 187]. При синхронному з головним валом обертанні ромбоподібного вала 1, довжина ниток між напрямними балочками 3 і 4 змінюється, при цьому змінюється і величина подачі ниток основи всередині технологічного циклу.

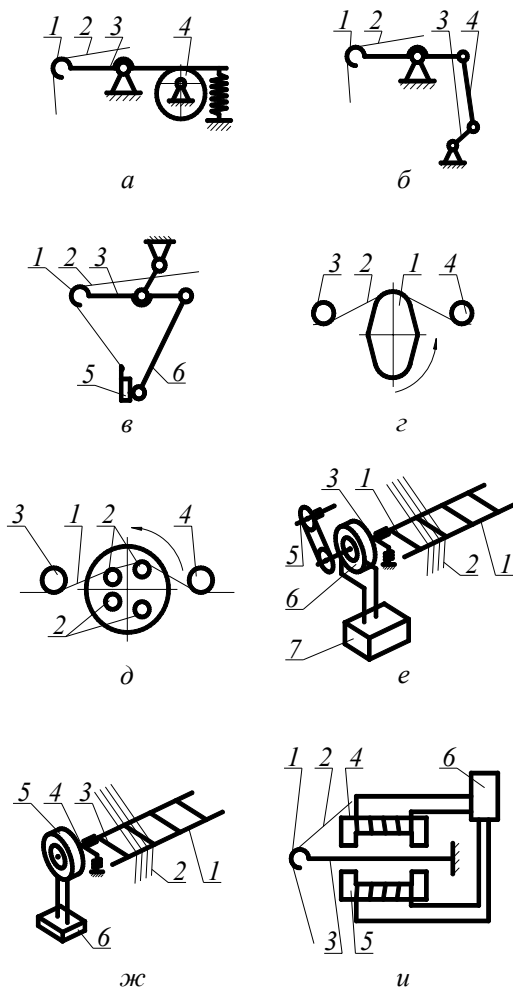


Рис. 1.5. Активні стабілізатори динамічного натягу ниток основи

Оптимізація форми ромбоподібного вала 1 і положення напрямних балочок 3 та 4 може забезпечити достатньо високий рівень стабілізації натягу ниток основи. Недоліком розглянутої конструкції СДННО є відносно значна лінія контакту ниток основи з поверхнею ромбоподібного вала, що негативно впливає на міцність ниток через їх стирання.

Збірні конструкції ротаційних СДННО менше зношують нитки основи, при цьому вони більш технологічно гнучкі при переналадженні [63, 188–190]. Збірні ротаційні СДННО (рис. 1.5, *д*) виконані у вигляді “білкового” колеса, в якому стрижні 2 , що зафіксовані в дисках 5 , контактують з нитками основи 1 , при цьому вони розміщені відносно осі дисків на різних відстанях і під різними початковими кутами [63]. При обертанні стержнів 2 , відносно осі дисків 5 , вони по чергову входять в контакт з нитками основи 1 , що приводить до зміни довжини ниток між напрямними балочками 3 і 4 . Підбором кількості і положення стрижнів 2 досягається високий ступінь стабілізації натягу ниток основи [62]. Використовуючи математичне моделювання, вдалося довести ступінь стабілізації натягу ниток основи до рівня 90 % і вище [124].

Перспективними є пневматичні і гідравлічні активні СДННО [142, 143, 191–193]. Характерною особливістю цих стабілізаторів є те, що пристрій формування сигналів (золотник, крановий розподільник) кінематично з’єднаний з головним валом, а основні відмінності полягають у вигляді використаного двигуна – поршневого [141], лопатєвого [140] або мембранного [124]. Для підвищення швидкодії стабілізаторів, особливо пневматичних, розподільвач і двигун розміщують в одному корпусі, що виключає використання з’єднувальних трубопроводів [140].

На рис. 1.5, *е* наведена принципова схема універсального пневмогідравлічного СДННО [140]. Універсальність стабілізатора полягає в тому, що в якості робочого середовища може бути використано як газ (повітря), так і рідина (масло). В основі конструкції стабілізатора використано універсальний неповноповоротний двигун 6 з вмонтованим в його корпус крановим розподільником, який кінематично з’єднаний з головним валом 5 в’язальної машини. Вихідний вал неповноповоротного двигуна 6 з’єднаний з валом 3 , на якому кронштейнами 4 закріплено скало 1 , що огинається нитками основи 2 . Для подачі робочого середовища використовується гідравлічна або пневматична станція 7 . Кінематичне з’єд-

нання розподільника з головним валом 5 забезпечує синхронізацію коливань вихідного вала неповноповоротного двигуна 6, а значить і скала 2 з коливаннями вживання ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення. Саме це і забезпечує стабілізацію натягу ниток основи. Основні недоліки запропонованої конструкції ті самі, що й для пневматичних [194–196] і гідравлічних [197–199] систем.

Значний інтерес представляють електромеханічні СДННО [200]. В якості двигуна, що приводить в рух скало в електромеханічних СДННО можуть використовуватися електродвигуни [145], електромагніти [144, 201], електромагнітні муфти [126].

В конструкції електромеханічного СДННО [145], зображеного на рис. 1.5, *и*, скало 1 кронштейнами 3 закріплено на валу 4, який з'єднаний з малоінерційним електродвигуном 5 [202]. Робота двигуна 5 через блок управління 6 синхронізована з процесом коливань вживання ниток основи в середині кожного циклу петлеутворення таким чином, щоб виключити суттєві коливання натягу ниток основи. Експериментальні дослідження стабілізатора показали можливість досягнення 60–70 % рівня ступеня стабілізації натягу ниток основи, однак при цьому швидкість в'язання не повинна перевищувати 1300–1400 петельних рядків на хвилину [200].

Безпосередній вплив на підскальну пружну пластину 3 електромагнітами 4 і 5 відбувається в активному СДННО (рис. 1.5, *ж*) [144]. Характер впливу на скало 1 формується блоком управління 6. Недоліком конструкції є обмеженість руху скала, що залежить від зазору між магнітопроводами 4, 5 і пластиною 3. Для забезпечення достатньо високих тягових зусиль і швидкодії електромагнітний зазор повинен бути мінімальним (менше 1 мм) [203], що не відповідає функціональним вимогам до стабілізатора (зазор має бути не менше 5 мм [6, 12]).

На основі аналізу конструктивних особливостей пристроїв стабілізації динамічного натягу ниток основи можна визначити перспективні напрями їх удосконалення, а саме:

- зменшення приведеної до скала маси рухомих елементів пасивних СДННО при відносно незмінній приведеній до скала жорсткості пружних елементів;
- максимально можливе зменшення кількості елементів пасивних СДННО;
- оптимізація взаємного розміщення основних елементів пасивних СДННО;
- підвищення швидкодії і точності активних СДННО.

1.3.2. Пристрої стабілізації середнього натягу ниток основи

Проблема рівномірності петельної структури є актуальною і її вирішення можливо за рахунок встановлення на в'язальних машинах високоефективних стабілізаторів середнього натягу ниток основи [12, 19, 62].

ССННО, як і СДННО за принципом дії розділено на пристрої активні та пасивні [126]. Як правило, пасивні ССННО забезпечують стабілізацію натягу ниток основи при відхиленнях в подачі ниток, викликаних спрацюванням основи з навоїв, а активні ССННО забезпечують стабілізацію натягу ниток основи при відхиленнях в подачі ниток, викликаних перехідними режимами роботи – пуском та зупинкою машини.

При відносно невисоких швидкостях в'язання (менше 1000 петельних рядів на хвилину) стабілізація середнього і динамічного натягу ниток основи на ОВМ виконується одним пристроєм, як правило, пасивним стабілізатором з пружним елементом у вигляді циліндричної або плоскої пластини [10, 12, 16]. При збільшенні швидкості в'язання намітився процес розділення функцій СННО на стабілізацію середнього і динамічного натягу ниток основи. Необхідність такого розділення була показана в роботах [6, 19, 27] з дослідження формування натягу ниток основи в'язальних машин.

Особливістю пасивних ССННО є те, що вони як динамічна система з одним ступенем вільності є низькочастотними – частота їх власних коливань в декілька разів менше частоти обертання головного вала [6].

У пристроях з пружними елементами, у вигляді циліндричних пружин [205–207] або пакета плоских пружин [19], зниження частоти власних коливань відбувається за рахунок достатньо високої, приведеної до скала, маси рухомих елементів, при цьому конструктивно вони виконані як пасивні СДННО.

На рис. 1.6, *a* зображено ССННО, де скало 2 закріплено на кінці важеля 3, інший кінець якого з'єднаний з пакетом пружних пластин, зафіксованих упором 5 [61]. Частота власних коливань стабілізатора в 1,5–2,0 рази менше частоти обертання головного вала, що дозволяє реагувати на зміну середнього натягу ниток основи [19]. Використання в стабілізаторі пружного елемента не дозволяє досягти високого ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи. Це викликано тим, що в процесі переміщення скала змінюється і рівень силової дії скала на нитки основи, що призводить до зміни середнього натягу ниток основи.

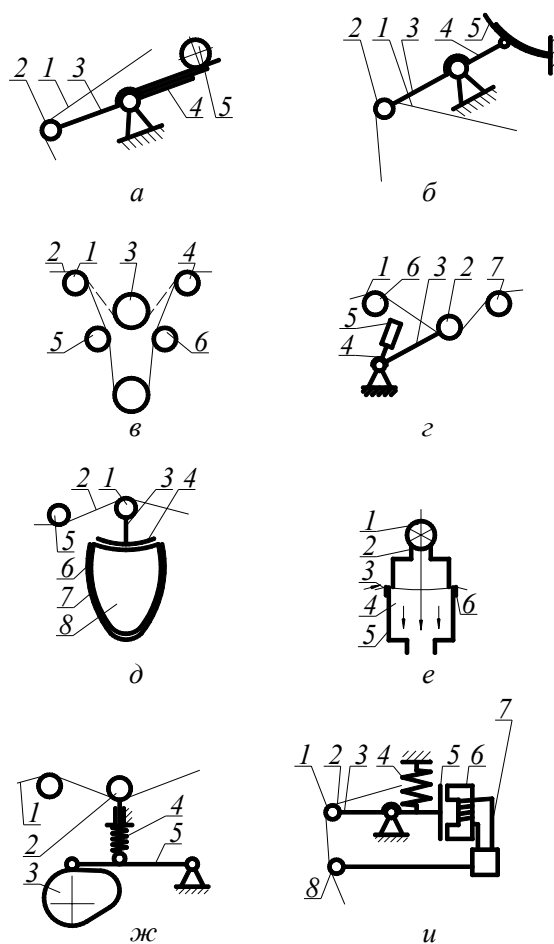


Рис. 1.6. Стабілізатори середнього натягу ниток основи

При удосконаленні пасивних ССННО з циліндричними і плоскими пружинами відмічається тенденція збільшення ступеня сталості силової дії скала на нитки при його переміщенні. Це досягається шляхом оптимізації розміщення пружного елемента відносно інших елементів стабілізатора [174, 175]. Так, у конструкції пасивного ССННО [208], зображеному на рис. 1.6, б, пружний елемент (плоска пластина 5) консольно закріплений на станині, а контакт з важелем 4, на якому закріплено скало 2, відбувається по

прямій, близькій до дотичної, що суттєво зменшує зміну силової дії скала на нитки основи при його переміщенні з одного крайнього положення в інше.

У ряді стабілізаторів, з метою підвищення їх чутливості, в конструкцію введено два скала, які закріплені на одному плечі важеля, з'єднаного з пружним елементом [209–210]. Таке конструктивне рішення дозволяє підвищити чутливість пристрою, але при цьому ускладнюється конструкція, а за рахунок подовження лінії контакту з нитками основи збільшується їх стирання.

Оптимізація взаємного розміщення пружин та інших елементів ССННО дозволяє тільки частково підвищити ступінь стабілізації натягу ниток основи, тому що саме використання пружин обмежує можливість ефективної стабілізації натягу ниток основи.

Значні можливості стабілізації середнього натягу ниток основи на ОВМ властиві вантажним ССННО [211–215]. Особливістю їх роботи є те, що натяг ниток основи формується за рахунок дії на них сили ваги вантажу. При розробці вантажних ССННО враховано, що при переміщенні скала, кут охопту його нитками основи змінюється, таким чином змінюється і їх чутливість до силової дії [216]. Для компенсації такого явища в конструкцію ССННО, зображеного на рис. 1.6, *в*, за рахунок введення напрямних 2–5 корегується кут охопту нитками основи 1 скала 2 при його переміщенні, цим самим на думку авторів, підвищується ступінь стабілізації натягу ниток основи [217]. Введення додаткових напрямних та дискретність коригування кута охопту ниток основи суттєво обмежує можливості такої конструкції.

Корегування кута охопту нитками основи скала за рахунок переміщення напрямних в ССННО виконується гідравлічним приводом, що суттєво ускладнює конструкцію стабілізатора [218].

Інша конструктивна концепція вантажних ССННО полягає в тому, що при зміні чутливості ниток основи до силового впливу змінюється відповідно і величина силової дії [216]. На рис. 1.6, *г* зображений один з варіантів такого конструктивного рішення [211]. Скало 2 і вантаж 5 важелями 3 і 4 закріплені на осі 8. Кут охопту нитками 1 скала 2 визначений положеннями напрямних 6 і 7. Натяг ниток основи формується силовою дією вантажу 5 через важелі 3, 4 і скало 2. Значення силової дії залежить від значення крутного моменту, який при переміщенні вантажу змінюється. Так при переміщенні скала вниз, викликаного збільшенням величини подачі ниток основи 1, кут охопту нитками 1 скала 2 збільшується, а чут-

лівість до силового впливу зменшується, при цьому силовий вплив скала 2 на нитки основи 1 із за збільшення крутного моменту від дії вантажу збільшується, в результаті чого значення натягу ниток основи 1 не змінюється. Аналогічно працює пристрій при переміщенні скала вгору.

В якості пружного елемента в ряді стабілізаторів використовується стиснуте повітря [219–221]. Переваги таких стабілізаторів полягають в широких можливостях регулювання рівня впливу скала на нитки основи. В стабілізаторі, зображеному на рис. 1.6, *д*, стиснуте повітря 8, закачане в еластичний балон 7, зафіксований в кожусі 6, а робочою поверхнею через “башмак” 4 діє на скало 2, яке безпосередньо взаємодіє з нитками основи 1 [220].

Вплив на нитки основи, з метою формування і стабілізації їх натягу, може виконуватися потоком повітря [222]. Для його формування в конструкції ССННО (рис. 1.6, *е*) використано компресор 1, що подає під тиском повітря по повітроводах 2 і 5, між якими проходять нитки основи 3. Для заправки ниток в стабілізаторі застосовано напрямні 4 та 6.

Використання пневматичних стабілізаторів обмежено декількома причинами – необхідністю наявності джерела стиснутого повітря, виникненням додаткового шуму, негативним впливом потоку повітря на структуру ниток при їх контакті.

Робота активних ССННО направлена в основному на стабілізацію середнього натягу ниток основи в перехідних режимах роботи в'язальних машин – пуск і зупинка, що дозволяє попередити появу поперечної смугастості. Теоретичною основою для проектування таких пристроїв є експериментально-аналітичні дослідження [30–35]. Як правило, в період зупинки основов'язальної машини натяг ниток основи збільшується і тоді активні ССННО, за рахунок додаткової подачі ниток основи в пружну систему заправки, попереджують цей процес [4, 12]. При пуску в'язальної машини – натяг ниток основи зменшується. У цьому випадку активний ССННО додатково вибирає з пружної системи заправки нитки основи, цим самим попереджує зменшення їх натягу і появу поперечних смуг. За описаним принципом працює ряд відомих пристроїв [223, 224].

У кулачкових ССННО (рис. 1.6, *ж*) закон додаткової подачі і вибірки ниток основи задається кулачком 3, який через важіль 5, підпружинену штангу 4 переміщує скало 2, що контактує з нитками основи 1 [223]. Через складність формування додаткової подачі ни-

ток основи при великій кількості переплетень та необхідність синхронізації початкових положень головного вала і кулачка, стабілізатор не отримав практичного використання.

Кулачкові пристрої використовуються також для зміни середнього натягу ниток основи з метою вироблення рисунчастого основов'язального полотна [225, 226].

Стабілізація середнього натягу ниток основи можлива за рахунок примусового обертання скала з визначеною частотою [58, 227]. У цьому випадку скало не тільки коливається, а й одночасно обертається в напрямку подачі ниток з коловою швидкістю, що перевищує швидкість витрати ниток основи [58]. Експериментальні дослідження стабілізатора [18] показали, що його використання дозволяє зменшити нерівномірність петельної структури, однак складність конструкції стабілізатора і налаштування при можливому стиранні ниток основи обмежує його використання.

Для стабілізації середнього натягу ниток основи, як при спрацьовуванні навоїв, так і в перехідні режими роботи машин, розроблено ряд активних пневматичних [228–230] і гідравлічних [231–233] пристроїв. Конструктивно вони виконані аналогічно активним пневматичним і гідравлічним СДННО при відповідному перепрограмуванні кранових розподільників.

Значні можливості стабілізації середнього натягу ниток основи мають електромеханічні ССННО. Як правило, в активних пристроях система управління виконана розімкнутою [12, 144, 145], однак відомі варіанти із замкнутою системою управління [12, 234]. У першому варіанті закон впливу на скало визначається положенням головного вала, а в другому – значенням середнього натягу ниток основи. На рис. 1.6, *и* представлена схема електромагнітного ССННО із замкнутою системою управління, де скало *1* через важіль *3* з'єднано з магнітопроводом *5* електромагніта *6*, який під'єднано до блока управління *7* [12]. Сигнали про зміну натягу ниток основи в блок *7* надходять від датчика *8*. В період зменшення натягу ниток, під дією електромагніта *5–6*, скало *1* піднімається, запобігаючи цим самим подальше зменшення натягу ниток основи *2* і навпаки, в періоди збільшення натягу ниток основи під дією електромагніта *5–6* скало *1* опускається запобігаючи подальше збільшення натягу ниток основи *2*. Недолік розглянутого стабілізатора полягає в тому, що для початку руху скала необхідне виникнення відхилення середнього натягу ниток основи від потрібного, що вже призводить до порушення петельної структури.

Розглянуті активні електромеханічні СДННО (рис. 1.5, *ж, и*) можуть виконувати функції ССННО при відповідній зміні закону переміщення скала. На основі аналізу конструктивних особливостей пристроїв стабілізації середнього натягу ниток основи можна визначити перспективні напрями їх удосконалення:

- розширення конструктивних можливостей регулювання низки динамічних параметрів (приведена до скала жорсткість пружного елемента стабілізатора, коефіцієнт в'язкого тертя) пасивних ССННО;
- розширення конструктивних можливостей регулювання силового впливу на нитки основи пасивних вагових ССННО;
- використання в якості пружного елемента стиснутого повітря.

1.4. Дослідження і методи проектування пристроїв стабілізації натягу ниток основи

Дослідження в області стабілізації натягу ниток основи ВМ показали значні можливості зменшення обривності ниток основи і підвищення рівномірності петельної структури за рахунок створення принципово нових і удосконалення існуючих пристроїв стабілізації натягу ниток основи [6, 12, 13, 18–20]. Встановлено також, що створення високоефективних пристроїв стабілізації їх натягу базується на вже існуючих процесах петлеутворення з врахуванням конструктивних особливостей робочих органів, їх приводів, механізмів подачі ниток основи і відтяжки готового полотна, що суттєво ускладнює процес проектування і вимагає проведення експериментально-аналітичних досліджень: особливостей взаємодії ниток основи з робочими органами [4, 14], особливостей перехідних процесів роботи ВМ [12], процесів перетяжки ниток основи з готового полотна [39, 104] тощо. В основу аналітичних досліджень покладена, як правило, розробка математичної моделі натягу ниток основи, що включає математичні моделі пристроїв стабілізації натягу ниток основи. Необхідність таких досліджень підтверджується тим, що саме на їх основі розроблені відомі високоефективні СННО [58, 60, 63, 113].

У результаті виконання комплексу експериментально-аналітичних досліджень [12, 17, 30–35, 235–240] в області проектування

пристроїв стабілізації натягу ниток основи, виконаних у КТІЛП під керівництвом В.А. Радзівєвського і В.М. Бондаря при співробітництві з проф. Ф.А. Мойсеєнко, створені принципово нові пристрої стабілізації натягу ниток основи [113, 234].

Для виконання експериментальних досліджень авторами розроблені методи і прилади вимірювання середньої подачі ниток основи, величини їх подачі за цикл петлеутворення, вимірювання натягу ниток основи [12, 235]. В результаті експериментальних досліджень встановлено особливості роботи механізмів подачі і натягу ниток основи для різних моделей ВМ.

При дослідженні процесу подачі ниток на ОВМ з переривчастою подачею ниток зроблено висновок, що принцип регулювання подачі ниток основи за їх натягом, закладений в механізмах переривистої дії, є найбільш оптимальним [12].

У роботі [236] представлено аналітичні дослідження пасивного нитконатяжного пристрою. Система “скало–нитки основи” розглядається як динамічна система з одним ступенем вільності, при цьому враховуються особливості взаємодії скала з нитками. Функція збурення – вживання ниток основи, представлена рядом Фур’є. Режим роботи основов’язальної машини – сталий. У результаті отримана математична модель натягу ниток, на основі якої зроблені наступні висновки:

1. Стабілізація натягу ниток основи – основна умова рівномірності структури полотна, що виготовляється.

2. Ідеальний закон коливання скала повинен відповідати закону повздовжньої деформації нитки, що обумовлений витратою нитки, подачею основи і прокачуванням гребінки.

3. Необхідність зменшення інерційності скала очевидна, однак вирішити цю задачу засобами механіки не вдається, зокрема, подальше зменшення маси скала практично неможливе. Потрібно шукати інші шляхи.

На основі досліджень [236] запропоновано використовувати автоматичний регулятор натягу ниток основи [234] з силовим впливом на нитконатяжний пристрій. Ефективність пристрою перевірялась на спеціально розробленому стенді [240]. За експериментальними даними, використання регулятора дозволяє приблизно в два рази зменшити амплітуди коливань натягу ниток основи. Дані про випробовування регулятора безпосередньо на ОВМ відсутні, тому питання про його використання на виробництві зали-

шається відкритим. Висновок про можливість подальшого зменшення маси скала оптимістичний; так, за рахунок оптимізації форми пружних елементів СННО доведена можливість підвищення частоти власних коливань на 30 % і більше [241]. Використання ряду Фур'є для представлення функції збурення та дослідження тільки сталого режиму роботи ОВМ знижує достовірність результатів і обмежує область використання моделі.

Розвиток теорії математичного моделювання основов'язального процесу отримав в роботі [239]. Робота пасивного нитконатяжного пристрою розглядається в пружній системі заправки ОВМ. Вихідною координатою при побудові моделі вибрана довжина нитки в петлі полотна. В процесі аналітичних досліджень встановлений зв'язок між довжиною петлі, вхідними координатами (швидкість сходу нитки з навою) і одною з внутрішніх координат – натягом ниток основи. В результаті досліджень отримано дещо ідеалізована математична модель основов'язального процесу. Аналіз моделі показав, що перехідний процес при основов'язанні займає час, достатній для утворення декількох сотень петельних рядів. Зроблений висновок не відповідає результатам експериментальних досліджень щодо особливостей утворення поперечної смугастості, де встановлена значно менша кількість поперечних рядків в поперечних смугах при перехідних процесах [30–35].

Значним вкладом в розвиток методології проектування СННО є дослідження динаміки автоматичного регулювання подачі основи [12]. Розглянутий авторами об'єкт автоматичного регулювання подачі основи в загальному вигляді включає нитки між навоєм і петлеутворювальними органами, навій і нитконатяжний пристрій того чи іншого типу і є, таким чином, достатньо складною динамічною системою. Дослідження вибраної системи розбито на ряд більш простих задач, рішення яких, на думку авторів, дозволяє не тільки досліджувати об'єкт регулювання в цілому, а й виявляти, яким чином впливають на його властивості окремі структурні елементи та способи регулювання подачі основи. В якості вихідної величини об'єкта прийнято натяг ниток основи, тому що саме він визначає якість трикотажного полотна. На основі отриманих математичних моделей натягу ниток основи побудовані структурні схеми об'єкта регулювання і зроблено загальні висновки, наприклад, що об'єкт регулювання при пасивній ниткоподачі з нитконатяжним пристроєм по відношенню до збурення (з боку натягу ни-

ток в навої, швидкості вживання ниток петлеутворювальними органами) є астатичним елементом.

У роботі [12], узагальнюючи результати раніше виконаних досліджень, зроблена спроба визначити найбільш перспективні шляхи удосконалення механізмів подачі ниток, зокрема пристроїв стабілізації натягу ниток основи:

- автоматичне регулювання подачі ниток за натягом було б ідеальним при умові забезпечення сталості натягу ниток основи як всередині циклу, так і між циклами;

- частковим рішенням задачі стабілізації натягу ниток основи є використання додаткового регулюючого пристрою, що діє при відхиленні натягу безпосередньо на скало, яке само по собі є параметричним стабілізатором натягу;

- одним із способів стабілізації натягу ниток всередині циклу може бути використання примусово коливального (за наперед заданим законом) скало, аналогічно тим, що застосовуються на ткацьких верстатах;

- найбільш перспективним вбачається використання комбінованого способу регулювання подачі основи, суть якого полягає в наступному. Груба установка величини подачі основи проводиться регулятором залежно від поточного значення діаметра навою. Точна величина подачі встановлюється відповідно до необхідних значень середнього натягу ниток основи.

Цикл експериментально-аналітичних досліджень, що охоплюють питання стабілізації натягу ниток основи, виконані в ЛІТЛП [10, 15, 28, 39, 96, 106–110, 120]. Використання швидкісної кінозйомки при дослідженні роботи ВМ значно розширило можливості експериментальних досліджень [28]. Автором встановлені особливості зміни натягу ниток основи всередині циклу петлеутворення при в'язанні різних переплетень.

Запропонований динамічний аналіз роботи скала спрямований на визначення частоти його власних коливань [10]. У результаті аналізу отриманих результатів зроблено висновок про доцільність застосування в конструкції пасивних пристроїв стабілізації динамічного натягу ниток основи плоских пружин.

В основі аналітичних досліджень пасивних пристроїв стабілізації натягу ниток основи розроблена математична модель натягу ниток основи з врахуванням конструктивних параметрів стабілізатора [108–110]. Позитивною особливістю моделі є можливість дослідження не тільки сталого режиму роботи ВМ, а й перехідні

режими (пуск і зупинка). Для цього функція збурення представлена експоненціальною функцією, що дозволило досліджувати також перехідні режими, однак при цьому знижується точність результатів досліджень. Аналіз математичної моделі показав, що натяг ниток основи і характер його змін залежить від великої кількості факторів: параметрів механізму скала; закону витрати ниток основи; швидкості подачі ниток основи; робочої швидкості машини; характеру перетяжки; виду використовуваних ниток.

Використовуючи обчислювальну техніку, авторами вирішена наближено “пряма” задача – визначення закону зміни натягу ниток основи за відомими факторами. При цьому відмічено, що більш важливою є зворотна задача – підбір точного співвідношення факторів, які забезпечили би потрібний закон натягу ниток основи.

Розвиток методів аналітичних досліджень натягу ниток основи [108–110] відображено роботі [120], де запропонована методика вибору параметрів пасивного СДННО. Відмічено, що розрахунковими параметрами СДННО, що підлягають вибору, є приведені маса скала та жорсткість підскальних пружин. Методика вибору приведеної маси СДННО базується на рівнянні руху скала:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} + cS = T, \quad (1.2)$$

де m – приведена і розрахована на одну нитку маса рухомих елементів скала;

S – відхилення скала від положення рівноваги при повністю ослаблених нитках;

c – приведений і розрахований на одну нитку коефіцієнт жорсткості підскальних пружин;

T – натяг ниток основи перед зоною петлеутворення.

Доцільність приведення параметрів СДННО до одної нитки не доведена і може призвести до помилкових результатів. Зроблений висновок, що приведена маса скала повинна бути мінімально можливою, справедливий тільки частково. Подальші дослідження показали, що в області малих значень приведеної маси це твердження помилкове [18, 19]. Метод вибору приведеної жорсткості підскальних пружин носить дещо рекомендаційний характер – жорсткість підскальних пружин потрібно вибирати таким чином, щоб в результаті переміщення скала компенсувалася лише та час-

тина невідповідності між подачею і вживанням, яка не може бути компенсована пружними деформаціями нитки.

Цикл експериментально-аналітичних досліджень [18, 56–58, 242–244], з метою підвищення ефективності роботи ОВМ та якості готового полотна, виконані в РПІ під керівництвом проф. Б.С. Окса.

Аналізуючи існуючі системи подачі ниток [18, 244], в розвиток класифікації [12] В.А. Радзівського і В.М. Бондаря, авторами запропоновано розподіл систем подачі ниток з регулюванням за натягом на два види, в яких відхилення скала від заданого положення викликає зміну:

- моменту, який передається від двигуна на вал механізму приводу навою;

- передавального відношення механізму приводу навою.

У роботах [18, 244, 245] розглянуті системи подачі ниток, в яких відхилення скала викликає зміну моменту на вхідному валу механізму приводу навою, оскільки принцип регулювання, закладений в них, є найбільш досконалим. У результаті розв'язання системи рівнянь (рівняння руху навою і коливань скала) отримано диференціальне рівняння четвертого порядку, що описує коливання скала в системі подачі ниток з регулюванням за натягом ниток основи з врахуванням його зв'язку з механізмом приводу навою. Авторами встановлено, що на переміщення скала, подачу і натяг ниток основи впливає частота власних коливань скала: без ниток; з нитками; охопленого нитками і зв'язаного з механізмом приводу навою. Співставлення нерівномірності подачі ниток, розкиду середніх значень відхилення скала від заданого положення, а також розкиду середніх значень і змінних складових натягу ниток дозволило зробити висновок, що скало не ефективно компенсує нерівномірність подачі ниток між циклами петлеутворення.

Дослідження динамічної складової натягу ниток основи виконано при дослідженні механізму скала без врахування його зв'язку з механізмом приводу навою [18, 245]. Встановлено, що не завжди зменшення маси скала, тобто збільшення частоти власних коливань скала, спричиняє зменшення динамічної складової натягу ниток. У результаті теоретичних досліджень запропоновано принципово новий спосіб стабілізації натягу ниток основи [58]. Співставлення динамічних складових натягу ниток показало, що у випадку ротаційного скала амплітуда всіх гармонік натягу менше, ніж при звичайному скалі.

Відсутність об'єктивних критеріїв оцінки ефективності роботи не дозволили визначити перевагу або недолік запропонованого конструктивного рішення перед іншими відомими СННО.

Експериментально-аналітичні дослідження пристроїв стабілізації натягу ниток основи [19, 246–248], доведені до інженерних методів проектування, виконані О.К. Тройниковою під керівництвом проф. Ф.А. Мойсеєнко. У результаті математичного моделювання отримано інтегральну модель натягу ниток основи на ділянці “скало–вушковини” [246, 248]:

$$T_1(t) = -\frac{1}{\beta A} \left[\frac{c_p}{m_p} \int_0^t G'(\tau) n(t-\tau) d\tau + 2n \int_0^t G''(\tau) n(t-\tau) d\tau - \int_0^t G'''(\tau) n(t-\tau) d\tau + G(t) n''(0) + n(t) \right] \quad (1.3)$$

де $T_1(t)$ – натяг ниток основи на ділянці від вушкови до скало в момент часу t , Н;

β – коефіцієнт відносного видовження нитки;

$$A = (l_1 + l_2 e^{-\mu\alpha_1} + l_3 e^{-\mu(\alpha_1+\alpha_2)}) \frac{dT_1}{dt};$$

l_1, l_2, l_3 – довжина нитки на ділянках відповідно від вушкови до скало, від скало до напрямного прутка, від напрямного прутка до навою, м;

α_1, α_2 – кути охопту нитками основи відповідно скало і напрямного прутка, град;

μ – коефіцієнт тертя ниток основи при переміщенні їх по скалу і напрямному прутку;

c_p – жорсткість підскальних пружин, приведена до осі скало, Н/м;

m_p – приведена до осі скало маса рухомих елементів нитконатяжного пристрою, кг;

n – коефіцієнт згасання;

$n(t)$ – нелінійна складова функції необхідної подачі ниток основи, м;

$G(t)$ – функція Гріна;

τ – змінна інтегрування.

Таблична форма представлення функції збурення (нелінійна складова функції необхідної подачі ниток основи) підвищує точність отриманих результатів і спрощує процес числових досліджень. У результаті рішення задач оптимізації авторами визначені оптимальні інтервали частот власних коливань як для СДННО, так і для ССННО. Недоліком отриманої моделі є обмеження за режимами роботи ОВМ (тільки сталій) і за конструктивними особливостями пристроїв стабілізації (тільки пасивні пристрої, що мають один степінь вільності). Використаний при дослідженнях показник ефективності роботи СННО (середньоквадратичне відхилення натягу ниток основи) ускладнює і обмежує можливість об'єктивного порівняння з іншими СННО.

У роботах [6, 19] представлено результати аналітичних досліджень пристроїв пневматичної дії [220], що містять скало і пружний елемент, виготовлений у вигляді еліптичної камери з тонкою еластичною оболонкою, яка заповнена стиснутим повітрям. Показано, що за рівнянням Менделєєва–Клапейрона:

$$PV = (P + \Delta P)[V - \Delta V] = \frac{M}{\mu} RT, \quad (1.4)$$

де P – тиск повітря в камері; V – об'єм камери до дії на неї скало; ΔV – зменшення об'єму камери при максимальному опусканні скало; ΔP – збільшення тиску повітря в камері; M – маса газу; μ – молярна маса газу; R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура газу.

Відношення $\Delta V/V$ може бути підібрано таким чином, коли коливання $\Delta P/P$ тиску повітря в камері, а значить і натягу ниток основи, будуть мінімальні. Зроблений висновок показує можливість створення досить компактного нитконатяжного пристрою, однак оцінка ефективності роботи такого пристрою в пружній системі заправки ВМ відсутня, що залишає відкритим питання про можливість пневматичних стабілізаторів.

Цикл експериментально-аналітичних досліджень [13, 20, 62, 142, 173–175, 249–256] в області стабілізації натягу ниток основи виконано в КТІЛП під керівництвом проф. О.М. Хомяка. Експериментальні дослідження проводилися як в лабораторних умовах на ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2” [249], так і на виробництві [142]. При аналізі роботи нитконатяжного пристрою ОВМ моделі 5219

“Кокетт–2” як компенсатора подачі і вживання ниток основи було встановлено, що при збільшенні швидкості в’язання властивість пристрою виконувати свої функції погіршується [249]. Це проявляється в збільшенні величини запізнювання спрацювання пристрою.

У процесі аналітичних досліджень [62, 250] пасивних СННО, що мають один степінь вільності, отримано вираз, який описує коливання деформації ниток основи на ділянці “навій–вушкові голки”:

$$\Delta L(t) = \sum_{j=1}^{\infty} C_j [\sin(j\omega t + \delta_j) - \eta_j \sin(j\omega t + \delta_j - \varepsilon_j)], \quad (1.5)$$

де C_j , δ_j – амплітуда і фаза j -ї гармоніки коливань деформації ниток основи при відсутності нитконатяжного пристрою;

η – коефіцієнт динамічності; визначає відношення приведеної амплітуди j -ї гармоніки коливань скала нитконатяжного пристрою до амплітуди j -ї гармоніки коливань деформації ниток основи при відсутності нитконатяжного пристрою;

ε_j – зсув фази вимушених коливань скала j -ї гармоніки по відношенню до j -ї гармоніки коливань збурюючої сили.

Для оцінки ефективності роботи пристроїв стабілізації натягу ниток основи введено показник ступеня стабілізації натягу ниток основи, який відображає величину відносного зменшення нитконатяжним пристроєм розмаху коливань натягу ниток [250]:

$$\beta_i = \frac{A_{0i} - A_{1i}}{A_{0i}} \cdot 100 \%, \quad (1.6)$$

де A_{0i} , A_{1i} – відповідно розмахи коливань натягу ниток при відсутності і при використанні нитконатяжного пристрою;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ – номер значущого розмаху коливань натягу ниток.

Коефіцієнт β_i дозволяє проводити порівняльну оцінку ефективності роботи СДННО різних конструкцій, встановлених на ВМ різних моделей. Використовуючи вираз (1.6) встановлено, що у випадку зменшення маси рухомих елементів пасивного нитконатяжного пристрою ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2” в 3–4 рази (що теоретично можливо) ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи при швидкості в’язання 1200 петельних рядів за хвилину може досягти 30–50 %, а при швидкості в’язання 1800 петельних рядів за хвилину – 0–30 % [62].

У роботах [251, 252] представлено результати досліджень можливості встановлення на ОВМ активних нитконатяжних пристроїв. Експериментально-теоретичні дослідження процесу руху ниток основи в зону петлеутворення показали, що основою для проектування активних нитконатяжних пристроїв є нелінійна складова функції вживання ниток основи петлеутворювальними органами ОВМ [62, 247]. Показано, що у випадку суттєвого впливу напряму і величини зсуву на нелінійну складову функції вживання ниток основи, застосування активних пристроїв буде малоефективним.

У процесі експериментально-теоретичних досліджень встановлено, що зміна напряму і величини зсуву гребінки вушкових голок при виробітку двох і більше суміжних петельних рядів викликає зменшення ефективності роботи активного нитконатяжного пристрою, при цьому максимальна величина впливу не перевищує зниження ступеня стабілізації натягу ниток основи на 12,8 % [252]. У результаті досліджень доведена технологічна можливість широкого застосування на ОВМ активних нитконатяжних пристроїв.

Достовірність результатів теоретичних досліджень [252] ефективності встановлення на ОВМ активних нитконатяжних пристроїв була перевірена в процесі розробки конструкцій [63], методів проектування пристроїв [62, 254], експериментальних досліджень [255] і виробничих випробувань пристроїв [62]. В основі проектування і оптимізації конструктивних параметрів ротаційних нитконатяжних пристроїв авторами використана математична модель процесу подачі ниток основи ротаційним пристроєм.

У результаті теоретичних досліджень ротаційного нитконатяжного пристрою, який спроектовано для ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2” встановлено, що при високих швидкостях в’язання (до 3000 петельних рядів на хвилину):

– ступінь стабілізації натягу ниток основи може досягати 60–75 %;

– швидкість удару пристрою по ниткам основи не перевищує 0,35 % від швидкості звуку в нитках основи (з чого зроблено висновок, що динамічний удар по ниткам основи не призведе до збільшення обривності ниток основи) [62, 254].

Виробничі випробування ротаційного пристрою показали його ефективність – за рахунок зменшення обривності ниток основи при спрацюванні навою підвищилась швидкість в’язання в 1,5 рази [62].

Враховуючи недоліки проведених досліджень, в яких використовувались математичні моделі СННО, в роботі [253] була поставлена і вирішена задача розробки моделі СННО, яка враховувала би сталий і перехідні режими роботи ОВМ при табличному, як найбільш прийнятному, способі завдання функції збурення. В результаті отримано математичні вирази, що описують переміщення скала СННО з одним ступенем вільності:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = e^{-nt} \left(A_j \cos(\sqrt{p^2 - n^2}t) + D_j \sin(\sqrt{p^2 - n^2}t) \right) + \\ \quad + \frac{a_j}{p^2}t + \frac{b_j}{p^2} - 2n \frac{a_j}{p^4}; (p > n) \\ x = e^{-nt} \left(A_j + D_j t \right) + \frac{a_j}{p^2}t + \frac{b_j}{p^2} - 2n \frac{a_j}{p^4}; (p = n) \\ x = e^{-nt} \left(A_j e^{\sqrt{n^2 - p^2}t} + D_j e^{-\sqrt{n^2 - p^2}t} \right) + \\ \quad + \frac{a_j}{p^2}t + \frac{b_j}{p^2} - 2n \frac{a_j}{p^4}; (p < n), \end{array} \right. \quad (1.7)$$

де $n = k / 2m$; $p^2 = (C_1 + C_2) / m$; $g = C_1 / m$;

m – приведена маса рухомих елементів СННО;

k – коефіцієнт в'язкого тертя;

C_1, C_2 – приведені жорсткості ниток основи і скала.

Проведений аналіз впливу основних параметрів СННО на ефективність його роботи дозволили зробити ряд висновків:

– зменшення маси рухомих елементів СННО веде до зростання показника ступеня стабілізації натягу ниток основи;

– при високих швидкостях в'язання (більше 1200 петельних рядів за хвилину) реально для існуючих СННО досягти 40–50 % рівня стабілізації натягу ниток основи, при цьому коефіцієнт в'язкого тертя необхідно довести до 50–80 Нс/м;

– для ефективної роботи СННО приведена жорсткість під скальних пружин повинна бути близька до приведеної жорсткості ниток основи [256].

Отримані результати прийнятні тільки при проектуванні пасивних СННО з одним ступенем вільності, при цьому необхідно

враховувати можливість існування СННО з двома степенями вільності (ОВМ моделі 5225 “Кокетт–Е2”).

Можливість підвищення ефективності роботи СННО за рахунок оптимізації взаємного розміщення основних елементів досліджена в роботах [173–175]. Аналіз процесу взаємодії скала з нитками основи проведено в два етапи – дослідження чутливості СННО до зміни натягу ниток основи і дослідження впливу напрямку переміщення скала на процес подачі ним ниток основи.

На першому етапі досліджень використано показник раціонального розміщення основних елементів СННО [174]:

$$K_{p.p.} = \frac{F_H}{2Q} \cdot 100 \%, \quad (1.8)$$

де F_H – нормальна складова сили дії натягу ниток основи на скало; $2Q$ – максимально можливе значення сили дії натягу ниток основи на скало.

Моделювання системи “СННО–нитки основи” показало, що в сучасних ОВМ значення показника $K_{p.p.}$ не перевищує 50-відсоткового рівня при максимально можливому рівні 100 %. На другому етапі досліджень введено показник ефективності переміщення скала $K_{e.n.} = \Delta L/R$, який відображає відношення абсолютної величини подачі ниток основи ΔL до переміщення скала на величину R [174]. Для СННО сучасних ОВМ значення показника $K_{e.n.}$ коливається від 1,2 до 1,3 що на 10–20 % менше максимально можливого значення. Оптимізація конструктивних параметрів СННО з новим розміщенням основних елементів дозволило збільшити на 17,9 % показник $K_{p.p.}$ і довести до рівня 67,9 %, а показник $K_{e.n.}$ збільшити на 16 % і довести до рівня 1,46. Результати експериментальних досліджень підтвердили переваги нової конструкції [175] пасивного СДННО. Встановлено, що ступінь стабілізації натягу ниток основи в розробленого СДННО на 20–35 % вища порівняно з відомим пасивним СДННО і може досягати 60-відсоткового рівня, що далеко від максимально можливого рівня 100 %.

У результаті аналітичних досліджень, виконаних Казиміжем Копясом, запропонована концепція зменшення діапазону зміни сил в нитках основи в процесі в’язання [55, 257, 258]. Дослідження виконані послідовно в двох режимах роботи скала – квазістатичному та динамічному. В результаті аналізу руху скала, сил, що діють в нитках основи у процесі в’язання в квазістатичних умовах,

встановлено, що величина натягу ниток основи, що сходять зі скала в напрямку голок, залежить від величини сили реакції пружин скала, коефіцієнта тертя ниток основи по скалу, кута охопту нитками скала, геометричних параметрів механізму скала і напрямку переміщення ниток основи через скало. В результаті динамічного аналізу сил, що діють в нитках основи в області скала отримано вирази вимушених коливань скала U_m , а також кута фазового зсуву збурення Ψ_f по відношенню до моменту M_m :

$$g_m = \frac{M_m}{(k - J\omega_f^2)^2 + (b\omega_f)^2}, \quad (1.9)$$

$$\Psi_f = -\operatorname{arccctg} \frac{b\omega}{k - J\omega_f^2}, \quad (1.10)$$

де ω_f – частота збурення; ω – частота згасаючих вільних коливань; k – приведена жорсткість скала; J – момент інерції скала; b – коефіцієнт згасання, викликаний силами тертя в підшипниках.

Отримана модель має ряд недоліків: досліджується тільки сталій режим; розглядається механізм скала тільки з одним ступенем вільності. У результаті аналізу моделі підтверджено раніше зроблений висновок, що конструкція пристрою скала повинна забезпечувати з одного боку високу чутливість, а з іншого – високу частоту власних коливань [12].

В основу концепції зменшення діапазону зміни сил в нитках основи під час в'язання покладено два способи зменшення амплітуд сил, що діють в нитках основи, але тільки в машинах, в яких застосовуються регулятори подачі постійних відрізків основи [55]. Перший спосіб базується на тому, що переміщення елементів кріплення пружин в функції кута повороту головного вала машини повинно бути вибрано таким, коли забезпечується сталість деформації пружин. Другий спосіб зменшення амплітуди змін сил в нитках основи базується на обмеженні руху скала шляхом подачі основи з різною швидкістю, залежно від її вживання.

При проектуванні СННО в'язальних машин можуть бути використані результати досліджень СННО ткацьких верстатів [128, 259–266]. Швидкісні режими ткацьких верстатів дещо нижчі ніж у ОВМ і ВПМ, однак проблема стабілізації натягу ниток основи також актуальна і при її дослідженні отримані результати, яким притаманна наукова новизна.

У роботі [259] показано, що коливне скало ткацького верстата є одним з основних механізмів, що впливає на закон зміни натягу ниток основи. Автор вказує на необхідність встановлення чіткої математичної залежності між натягом ниток основи і законом коливань скала. В роботі зроблена спроба визначення закону руху скала за законом зміни натягу ниток основи, отриманого експериментально в виді осцилограми. Розрахунки проводились із застереженням, що рух скала характеризується звичайним неоднорідним лінійним диференціальним рівнянням другого порядку:

$$\ddot{q} + k^2 q = f(t), \quad (1.11)$$

де $q = q(t)$ – переміщення скала; k – частота власних коливань скала; $f(t)$ – функція натягу ниток основи (збурююча функція); t – час.

Крива осцилограми натягу ниток основи апроксимувалась відрізками прямих (шість відрізків в одному робочому циклі). Рівняння (1.11) інтегрувалось у відрізках і визначалось переміщення скала $q=q(t)$ як функція часу. Одним з недоліків запропонованої методики є неможливість вирішити “зворотну” задачу – визначити закон зміни натягу ниток основи по характеру руху скала.

На основі аналізу скальної системи верстатів СТБ і АТПР розроблені рівняння динамічної рівноваги скальної системи, що зв’язують натяг ниток основи з закономірностями відносного і переносного руху скала [260]. Рівняння складені з урахуванням сил інерції скала, сил тертя в підшипниках, зміни довжини і положення вагових пружин, конструктивних і встановлювальних параметрів системи скала, але в отриманих рівняннях динамічної рівноваги невідомих величин більше, ніж кількість рівнянь. Тому для повного розв’язання задачі про взаємодію ниток основи зі скалом необхідно врахувати закономірності розподілу деформації основи за зонами заправки ткацького верстату, а для визначення законів руху скала необхідно знати закони зміни натягу ниток основи як всередині циклу, так і по мірі спрацювання навою.

Нетрадиційний підхід до рішення задачі стабілізації статичної складової натягу ниток основи у міру спрацювання навою запропоновано в роботі [261]. Суть підходу полягає в наступному: з умови статичної рівноваги рухомої системи скала верстата СТБ отримано рівняння головного моменту сил, що діють на систему. Вираз складено з врахуванням зусиль в нитках основи, ваги лан-

цюгів, моментів сил тертя положення скальної системи, радіусу намотки основи, заправних і встановлювальних параметрів і приведено до вигляду:

$$F\{\rho, \alpha, T, \beta(\alpha), \gamma(\alpha), \theta(\alpha), C_1, C_2, \dots, C_n\} = 0, \quad (1.12)$$

де ρ – радіус намотки основи на навої;
 α – кут між кронштейнами скала і горизонталлю;
 T – статична складова натягу ниток основи на ділянці “скало–основоспостерігач”;
 α, γ, θ – кути змінних в процесі спрацювання навою;
 C_1, C_2, \dots, C_n – різні встановлювальні кути і лінійні розміри рухомої системи скала.

Розрахунки показали, що для забезпечення стану, коли $T = \text{const}$ скало у міру спрацювання навою повинно переміщуватися вверх за визначеним законом, що вимагає введення додаткового коректувального елемента.

Узагальнена модель скальної системи сучасних ткацьких верстатів, що включає скало, два підскальника і пружний навантажувальний пристрій, наведена в роботі [263]. У результаті аналізу рівняння заправного натягу ниток основи показано, що задача $T = \text{const}$ зводиться до розв’язання рівняння $dT/d(\Delta\varphi) = 0$, де φ – кут між важелем скала і горизонталлю. Дослідження проведені тільки в статичних режимах, що дозволяє використовувати отримані результати частково.

Аналітичні дослідження рухомої системи заправки ткацького верстата з двома степенями вільності виконані під керівництвом проф. Е.Д. Єфремова [264]. В результаті отримано рівняння руху механізму рухомої системи скала, що враховує вплив приведенного моменту інерції мас ланцюгів підскального важеля, моменту інерції маси вантажного важеля. При цьому використана методика моделювання на аналогових обчислювальних машинах, що не є оптимальним варіантом на сучасному етапі розвитку комп’ютерної техніки. Відмічено, що використання рухомої системи скала з двома степенями вільності на ткацькому верстаті АТПР–100 дозволило знизити обривність основних ниток на 15 % і зменшити імовірність появи браку у вигляді пускової смуги.

Доведені можливості рухомої системи скала з двома степенями вільності дозволяють припустити можливість їх викорис-

тання на ВМ, але це вимагає проведення циклу експериментально-аналітичних досліджень.

Результати аналітичних досліджень можливості стабілізації статичного натягу ниток обгінним механізмом представлені в роботах [265, 266]. В основу досліджень покладено розробка і аналіз математичних моделей обгінного механізму. Встановлено, що відомі обгінні механізми не забезпечують сталості вихідного натягу. Причина – обмежені конструктивні можливості формування вихідного натягу ниток основи.

Частина робіт з дослідження процесу стабілізації натягу ниток основи обмежується визначенням натягу ниток основи в статичних режимах роботи ВМ або визначенням частоти власних коливань СННО [115, 267, 268]. На основі таких досліджень зроблено ряд рекомендацій для проектування високоефективних СННО. Так, в роботі [267] поставлена задача про створення такої системи подачі ниток, яка дозволила би подавати в зону в'язання в окремі моменти одного циклу стільки ниток, скільки потребує процес в'язання, при цьому потрібно забезпечувати мінімально можливе значення середнього натягу ниток основи і мінімальне відхилення від цього значення.

У ряді робіт показано, що пружна система заправки ВМ, що включає СННО, є достатньо складною динамічною системою, яка може бути описана системою диференціальних рівнянь [12, 269–272]. Використання аналогових машин [269, 270] не дозволяє в достатньому об'ємі проводити дослідження, при цьому, практика проектування складних динамічних систем [273–275] доводить можливість автоматизації процесу проектування з використанням сучасної комп'ютерної техніки.

Проведений аналіз досліджень і методик проектування пристроїв стабілізації натягу ниток основи показав, що:

– при наявності окремих досліджень в області взаємодії в пружній системі заправки пристроїв стабілізації натягу ниток основи з нитками основи відсутня узагальнююча модель, яка дозволяє визначати оптимальні умови взаємодії, що забезпечують стабілізацію натягу ниток основи – мінімізацію динамічного натягу ниток основи і сталість середнього натягу ниток основи;

– найбільш повно проведено дослідження пасивних СДННО, при цьому застосовано як експериментальні так і аналітичні методи. В основі аналітичних методів використано математичні моделі натягу ниток основи. Математичні моделі описують тільки

окрему конструкцію стабілізатора і їм притаманні суттєві недоліки – вони описують тільки сталий режим роботи ВМ, в основу покладено динамічні системи з одним ступенем вільності, оптимізаційні задачі обмежені;

– існуючі критерії оцінки ефективності роботи СННО не дозволяють проводити об'єктивну порівняльну оцінку стабілізаторів різних принципів дії і різних конструктивних рішень;

– показана перспектива удосконалення пасивних СДННО шляхом збільшення частоти власних коливань, при цьому відсутні наукові основи проектування високочастотних стабілізаторів;

– в ряді досліджень показана перспективність пасивних ССННО, при цьому відсутні наукові основи проектування як стабілізаторів з пружним елементом, так і вагових стабілізаторів;

– у відомих методах проектування пристроїв стабілізації натягу ниток відсутня можливість автоматизації проектування як самих пристроїв, так і пружних систем заправки в цілому;

– розроблена трирівнева класифікація пристроїв стабілізації натягу ниток основи, з врахуванням тенденцій розвитку технічних систем, показує можливість існування пневматичних, гідравлічних, електромеханічних пристроїв, при цьому відсутність досліджень, що підтверджують їх працездатність гальмує їх впровадження при проектуванні і модернізації ВМ.

Висновки

На основі аналізу тенденцій розвитку в'язального обладнання, аналізу досліджень впливу стабілізації натягу ниток основи на нормалізацію процесу в'язання, оцінки конструктивних особливостей, можливостей удосконалення і методів проектування пристроїв стабілізації натягу ниток основи визначена мета досліджень – розробка наукових основ і інженерних методів проектування нових і удосконалення існуючих пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ, спрямованих на підвищення ефективності роботи ВМ (підвищення продуктивності і якості готових виробів).

Для досягнення поставленої мети визначено задачі досліджень:

– визначити умови взаємодії пристроїв стабілізації натягу ниток основи, що забезпечують сталість середнього (міжциклового) та мінімізацію динамічного (циклового) натягу ниток основи;

- розробити показники для оцінки ефективності роботи пристроїв стабілізації натягу ниток основи в'язальних машин; розробити пристрій для комплексних експериментальних досліджень пристроїв стабілізації натягу ниток основи ВМ в умовах, що максимально наближені до виробничих;
- розробити наукові основи і методику проектування високо-ефективних пристроїв стабілізації динамічного натягу ниток основи ВМ;
- розробити наукові основи і методику проектування високо-ефективних пристроїв стабілізації середнього натягу ниток основи ВМ;
- розробити принципово нові конструкції пристроїв стабілізації натягу ниток основи, що забезпечують сталість середнього і мінімізацію динамічного натягу ниток основи;
- дослідити перспективні напрями створення високоефективних пристроїв стабілізації натягу ниток основи;
- провести експериментальні дослідження та виробничу перевірку ефективності запропонованих технічних рішень.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СННО В ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Для більшості ОВМ і ВПМ основов'язальний процес пов'язаний з взаємодією ниток основи і трикотажного полотна з петлеутворювальними органами, скалом СННО, відтяжним валом та іншими елементами в'язальних машин [1, 2, 4, 8]. Формування натягу ниток основи є одним з результатів такої взаємодії, при цьому за рахунок вибору закону дії скала СННО на нитки, з врахуванням інших факторів, можна досягнути оптимального їх натягу.

Практика проектування та дослідження пружних систем заправки ниток основи ВМ показала, що найбільш раціональним способом визначення оптимальних режимів взаємодії СННО з нитками є розробка і аналіз математичних моделей процесу натягу ниток основи в основов'язальному процесі [12, 55, 120, 269, 270].

2.1. Математична модель натягу ниток основи ВМ

Основою для розробки математичної моделі натягу ниток основи є пружна система заправки ОВМ та ВПМ [6, 12, 117].

На рис. 2.1 зображено типові схеми пружної заправки ОВМ і ВПМ, в яких нитки основи 1, що надходять з навою 2, взаємодіють з скалом 3 ССННО, скалом 4 СДННО, петлеутворювальними органами: вушковими голками 5, пазовими (язичковими, гачковими) голками 6 та платинами 7, а трикотажне полотно 8 через відтяжний вал 9 намотується на товарний вал 10.

На рис. 2.1, а зображена пружна система заправки ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2”, що найбільш широко використовується з відомих ОВМ на трикотажних підприємствах України.

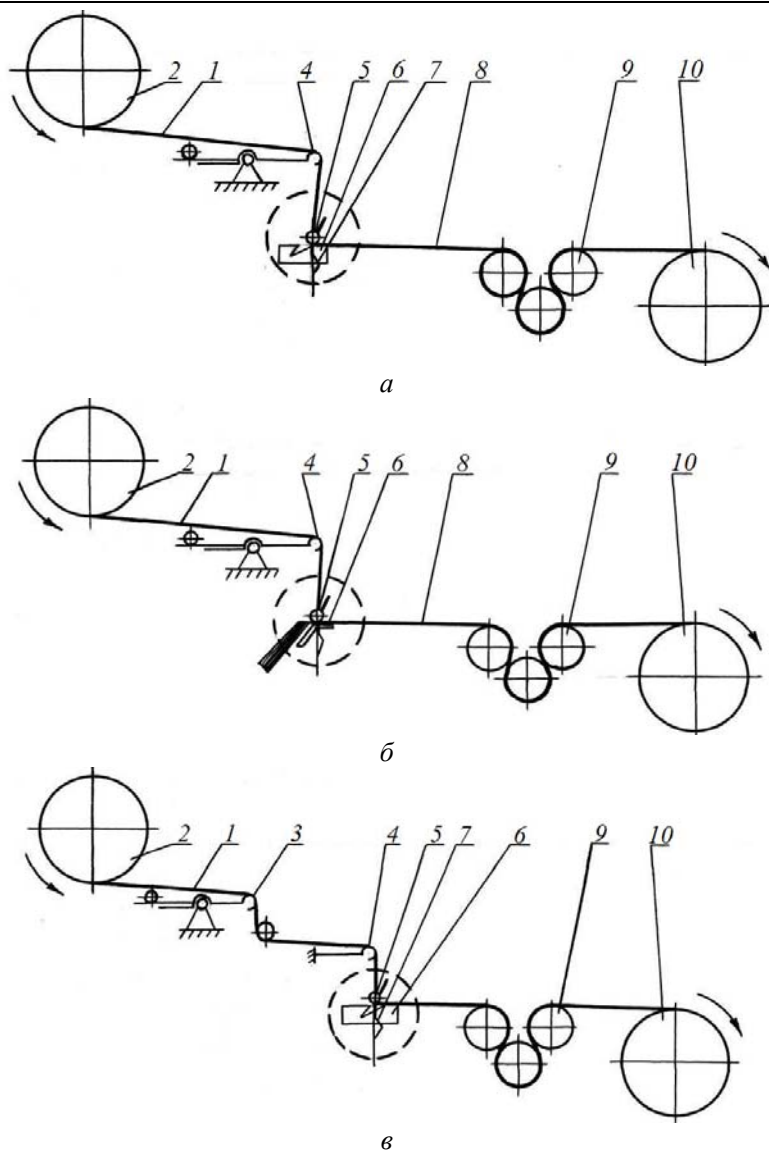


Рис. 2.1. Системи пружних заправок сучасних ОВМ та ВПМ:
 1 – нитки основи; 2 – навії; 3, 4 – скало; 5 – вушкові голки;
 6 – пазові (язичкові, гачкові) голки; 7 – платини;
 8 – трикотажне полотно; 9 – відтяжний вал; 10 – товарний вал

На рис. 2.1, б зображена пружна система заправки ВПМ моделі “Маліватт” [117, 276], особливістю якої є те, що в пружну систему заправки в області зони петлеутворення вводиться прошивне волокно. На рис. 2.1, в зображена пружна система заправки ОВМ, розроблена під керівництвом проф. Мойсеєнко Ф.А. [19, 61], в конструкції якої закладено перспективні рішення.

Особливістю системи є те, що нитки основи 1 взаємодіють одночасно і окремо з скалом 3 ССННО та скалом 4 СДННО. Така комбінація, як показали дослідження [19, 227], дозволяє більш якісно формувати натяг ниток основи.

Узагальнюючи представлені (рис. 2.1) та відомі схеми заправки, характерні для більшості ОВМ та ВПМ, розроблена розрахункова схема пружної системи заправки ВМ [4, 8, 10, 12, 276].

На рис. 2.2 представлена розрахункова схема пружної системи заправки ниток основи ВМ. Нитки основи 1, що знаходяться в навої 2 при початковому натягу T_1 , який формується в процесі снування, в результаті обертання навою 2, сходять в точці А з поступальною швидкістю V_1 .

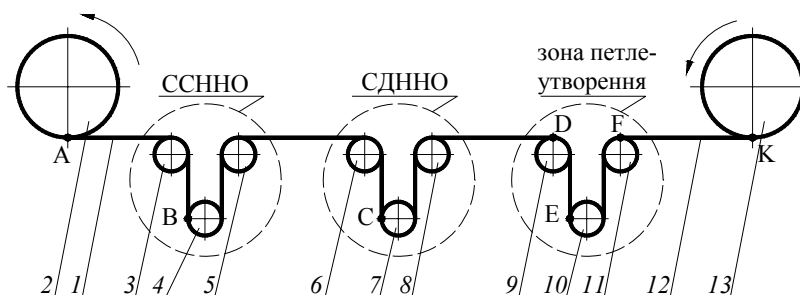


Рис. 2.2. Розрахункова схема пружної заправки ниток основи в'язальних машин:

- 1 – нитки основи; 2 – навій; 3, 4 – скало; 5 – вушкові голки;
6 – пазові (язичкові, гачкові) голки; 7 – платини;
8 – трикотаже полотно; 9 – відтяжний вал; 10 – товарний вал

Готове полотно 12, в результаті обертання товарного валика 13, намотується на нього з поступальною швидкістю V_2 . Циклічні дії робочих (петлеутворювальних) органів на нитки основи 1, в результаті яких утворюється готове полотно 12, в представленій схемі відтворюється коливальними рухами балочки

10 , що взаємодіє з нитками основи 1 . Робоча зона $ВМ$, яка в реальних умовах починається з точки контакту нитки основи з вушковими голками і закінчується точкою відриву готового полотна від платини, на схемі обмежена нерухомими балочками 9 та 11 , при цьому точка D визначає початок робочої зони, а точка F – кінець.

Враховуючи прийняті припущення, що стосуються процесу дії робочих органів на нитки основи, переміщення балочки 10 і пов'язана з ними витрата ниток основи, розглядаються як приведені.

Подача ниток основи 1 скалом СДННО відтворюється переміщенням балочки 7 і двома направляючими балочками 6 та 8 . Подача ниток основи 1 скалом ССННО відтворюється переміщенням балочки 4 і двома направляючими балочками 6 та 8 .

Прийняті наступні позначення:

L_{AB} – довжина ниток основи на відрізку між точками сходу їх з навою (т. A) і скалом ССННО (т. B);

L_{BC} – довжина ниток основи на відрізку між скалом ССННО (т. B) і скалом СДННО (т. C);

L_{CD} – довжина ниток основи на відрізку між скалом СДННО (т. C) і зоною петлеутворення (т. D);

L_{DEF} – довжина ниток основи в зоні петлеутворення;

L_{FK} – довжина готового полотна на відрізку між кромкою готового полотна (т. F) і точкою контакту готового полотна з відтяжним валом (т. K_{AB}).

Для отримання рівняння натягу ниток основи прийнято низку припущень:

1) натяг ниток основи і полотна не перевищують значень, що відповідають області їх пружних деформацій;

2) натяг ниток і полотна, а також вага навою і відтяжного валика на впливають на швидкість подачі ниток і швидкість намотування готового полотна;

3) маса ниток основи і полотна в системі заправки не впливають на їх натяг і швидкість переміщення;

4) швидкості деформування ниток і полотна менші швидкостей розповсюдження в них пружних деформацій;

5) зміна натягу ниток при їх сході з навою проходить в точці A практично миттєво;

6) точка D відповідає місцю контакту ниток основи з вушковими голками;

7) нитки основи переходять в трикотажне полотно в точці F .

Припущення 1–4 практично завжди виконуються, 5–7 – прийнятні, виходячи з наступного:

1. У точці A в дійсності можливе деяке проковзування нитки по навою і точка стрибка зміни натягу нитки може не співпадати з точкою A . Однак, зважаючи на значну довжину відрізка між точкою сходу нитки з навою і зоною петлеутворення, ковзання точки A по навою не суттєво впливає на натяг ниток основи.

2. Положення ниток на вушкочій голці в процесі петлеутворення змінюється, при цьому змінюється функція вживання ниток і довжина відрізка ниток між навоєм і зоною петлеутворення. Зміна функції вживання ниток враховується при визначенні самої функції, а зміна довжини ниток на відрізку між навоєм і зоною петлеутворення не суттєва, оскільки вона приводить до відносної зміни коефіцієнта жорсткості цієї ділянки на 0,1–0,2 %.

3. Положення кромки готового полотна на платині в процесі петлеутворення змінюється, при цьому змінюється функція витрати ниток і довжина відрізка готового полотна між зоною петлеутворення і відтяжними валиками. Зміна функції вживання ниток враховується при визначенні самої функції, а зміна довжини відрізка готового полотна між зоною петлеутворення і відтяжним валиком несуттєва, зважаючи на те, що відносна величина зміни коефіцієнта жорсткості цієї ділянки досягає всього 0,4–0,8 %.

Довжину відрізка готового полотна L_{FK} приведемо до еквівалентної їй довжини ділянки ниток основи. Для цього, на основі рівності приведених коефіцієнтів жорсткості обох ділянок [146], запишемо:

$$c_{FK} = \frac{c_{II}}{L_{FK}} = \frac{c_H}{L_{EKB}}, \quad (2.1)$$

де c_H , c_{II} – коефіцієнти жорсткості відрізка ниток основи і готового полотна, довжиною 1 м.

З рівняння (2.1) визначаємо довжину еквівалентного відрізка ниток основи:

$$L_{EKB} = \frac{c_H}{c_{II}} L_{FK}. \quad (2.2)$$

Для еквівалентного відрізка ниток основи визначено еквівалентну швидкість намотки ниток основи на товарний валик:

$$V_{EKB} = V_2 Y, \quad (2.3)$$

де Y – коефіцієнт запрацювання [3].

Приведена довжина пружної системи заправки ниток основи ВМ з врахуванням відрізка готового полотна, який замінено еквівалентним йому відрізком ниток основи, за [109] дорівнює:

$$L_{PP} = L_{DF} + L_{DC} e^{-\mu\alpha_1} + L_{BC} e^{-\mu(\alpha_1+\alpha_2)} + \\ + L_{BA} e^{-\mu(\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3)} + L_{EKB} A, \quad (2.4)$$

де μ – коефіцієнт тертя ниток основи по поверхні скала СДННО, ССННО і напрямних балочок;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – кути обхвату нитками основи вушкових голок, скала СДННО і скала ССННО;

A – число, що дорівнює відношенню сили відтяжки готового полотна до натягу ниток основи у зоні петлеутворення [10].

У процесі петлеутворення приведена довжина ниток за рахунок переміщення скала і петлеутворювальних органів коливається відносно свого середнього значення. Величина відхилення її поточних значень відносно середнього – не більше 0,25 %, тому під значенням приведеної довжини прийнято її середнє значення.

Приведений коефіцієнт жорсткості пружної системи заправки дорівнює [146]:

$$c_{PP} = \frac{c_H}{L_{PP}}. \quad (2.5)$$

Для розробки рівняння натягу ниток основи використано умову матеріального балансу деформованих ниток основи пружної системи заправки в'язальних машин, тобто баланс довжин ниток:

$$l_i + l_{CCN_i} + l_{CDN_i} - l_{2_i} - l_{3P_i} = l_{D\Phi_i}, \quad (2.6)$$

де l_i – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що подається наоєм за час Δt ;

l_{CCN_i} – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що подана скалом ССННО за час Δt ;

$l_{\text{СДН}i}$ – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що подана скалом СДННО за час Δt ;

l_{2i} – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що вживається відтяжним валиком за час Δt ;

$l_{3\text{П}i}$ – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що вживається в зоні петлеутворення робочими органами за час Δt ;

$l_{\text{ДФ}i}$ – довжина ниток основи в ненавантаженому стані, що визначає зміну деформації ниток основи на відрізку пружної системи заправки за час Δt .

Довжина ниток основи в ненавантаженому стані дорівнює [56]:

$$l_i = \frac{EF l_{p_i}}{T_i + EF}, \quad (2.7)$$

де l_{p_i} – довжина відрізка ниток, що знаходиться під натягом і має в ненавантаженому стані довжину l_i .

За виразом (2.7), рівняння (2.6) набуде вигляду:

$$\frac{EF l_{p1i}}{T_1 + EF} + \frac{EF l_{\text{СНН}i}}{T_i + EF} + \frac{EF l_{\text{СДН}i}}{T_i + EF} - \frac{EF l_{p2i}}{T_i + EF} - \frac{EF l_{p3\text{П}i}}{T_i + EF} = \frac{EF l_{\text{ДФ}i}}{T_i + EF}. \quad (2.8)$$

Розділивши обидві сторони рівняння (2.8) на Δt , отримаємо:

$$\frac{V_1}{T_1 + FE} + \frac{V_{\text{СНН}}(t)}{T_i + FE} + \frac{V_{\text{СДН}}(t)}{T_i + FE} - \frac{V_{\text{ЕКВ}}}{T_i + FE} - \frac{V_{3\text{П}}(t)}{T_i + FE} = \frac{V_{\text{ДФ}}(t)}{T_i + FE}, \quad (2.9)$$

де T_i – поточне значення натягу ниток основи пружної системи заправки;

$V_{\text{СНН}}(t)$ – швидкість подачі ниток основи скалом ССННО;

$V_{\text{СДН}}(t)$ – швидкість подачі ниток основи скалом СДННО;

$V_{3\text{П}}(t)$ – приведена швидкість вживання ниток основи в зоні петлеутворення;

$V_{\text{ДФ}}(t)$ – швидкість деформації ниток основи.

З виразу (2.9) визначено поточні значення натягу ниток основи в зоні петлеутворення:

$$T_i = \frac{1}{V_1} (EF + T_1) [V_{EKB} + V_{3П}(t) + V_{ДФ}(t) - V_{ССН}(t) - V_{СДН}(t)] - EF. \quad (2.10)$$

Середнє значення натягу ниток основи в сталому режимі в зоні петлеутворення визначено як середнє арифметичне всіх поточних значень натягу ниток за один цикл петлеутворення:

$$T_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = \frac{1}{V_1} (EF + T_1) \times \left[V_{EKB} + \frac{\sum_{i=1}^n V_{3П}(t)}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ДФ}(t)}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n V_{ССН}(t)}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n V_{СДН}(t)}{n} \right] - EF, \quad (2.11)$$

де n – кількість замірів в середині одного циклу петлеутворення.

В сталому режимі роботи ВМ коливання скала СДННО, переміщення робочих (петлеутворювальних) органів, деформація ниток основи циклічно повторюються. Враховуючи те, що для циклічно повторних коливань, сума швидкостей за один цикл дорівнює нулю, запишемо:

$$\sum_{i=1}^n V_{СДН}(t) = 0; \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{3П}(t) = 0; \quad (2.13)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{ДФ}(t) = 0. \quad (2.14)$$

З врахуванням виразів (2.12) – (2.14) значення середнього натягу ниток основи прийме вигляд:

$$T_{CP} = \frac{1}{V_1} (EF + T_1) [V_{EKB} - V_{ССН}(t)] - EF \quad (2.15)$$

або

$$T_{CP} = T_1 \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{CCH}(t)}{V_1} \right] + EF \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{CCH}(t)}{V_1} - 1 \right]. \quad (2.16)$$

З виразу (2.16) випливає, що середнє значення натягу ниток основи в сталому режимі роботи ВМ визначається початковим натягом ниток основи в навої T_1 , швидкістю подачі ниток з навою V_1 , швидкістю намотки готового полотна V_2 , переміщенням скала ССННО, видом переплетення та фізико-механічними властивостями ниток.

Поточні значення натягу ниток основи в зоні петлеутворення представлені сумою середнього значення натягу ниток T_{CP} і коливань натягу ниток відносно середнього значення – динамічної складової натягу ниток основи T_D [146, 150, 281, 282]:

$$T_i = T_{CP} + T_D. \quad (2.17)$$

Графічне представлення виразу (2.17) зображено на рис. 2.3.

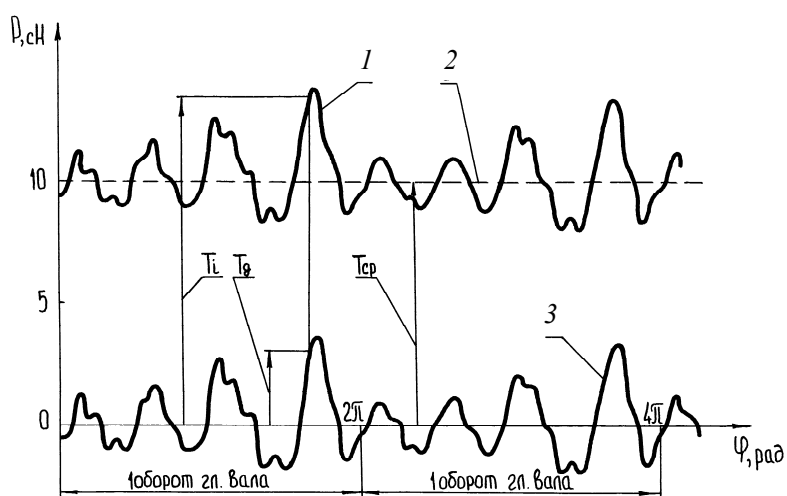


Рис. 2.3. Циклограми коливань натягу ниток основи та їх складові
З рівняння (2.17) з врахуванням виразів (2.10) та (2.15) випливає, що:

$$T_D = \frac{1}{V_1} (EF + T_1) [V_{3П}(t) + V_{ДФ}(t) - V_{СДН}(t)]. \quad (2.18)$$

Швидкість деформації ниток основи дорівнює [109]:

$$V_{ДФ}(t) = c_H L_{ПР} \frac{dT_D}{dt}. \quad (2.19)$$

Підставляючи вираз (2.19) в (2.18) після низки перетворень отримаємо вираз для визначення динамічної складової натягу ниток основи:

$$B \frac{dT_D}{dt} - T_D + \frac{1}{V_1} (EF + T_1) [V_{3П}(t) - V_{СДН}(t)] = 0, \quad (2.20)$$

де

$$B = \frac{1}{V_1} c_H L_{ПР} (EF + T_1). \quad (2.21)$$

2.2. Аналіз особливостей дії ССННО на нитки основи

В основу вибору оптимальних варіантів дії ССННО на нитки основи покладено необхідність виконання раніше сформульованої вимоги – підтримання постійним середній натяг ниток при спрацюванні навоїв, а також в перехідних режимах роботи (пуск, зупинка) ВМ. Можливість підтримання постійним середній натяг ниток розглянута на основі рівняння, що визначає середнє значення натягу ниток основи (2.15).

Проведені дослідження показують, що в процесі роботи ВМ, жорсткість метрового відрізка ниток основи c_H , коефіцієнт запрацювання U і швидкість намотки готового полотна V_2 практично не змінюються, при цьому можливі зміни швидкості подачі ниток з навою V_1 і швидкості подачі ниток скалом ССННО [62].

Зміна швидкості подачі ниток основи V_1 пов'язана, перш за все, зі зміною діаметра новою – його спрацювання. Процес зміни швидкості подачі ниток основи з навоїв представимо як різницю:

$$V_1 = V_{01} - \Delta V(t), \quad (2.22)$$

де V_{01} – бажана швидкість подачі ниток з навоїв, що забезпечує потрібний постійний середній натяг основи;

$V(t)$ – відхилення потрібної швидкості подачі ниток основи V_1 від бажаної V_{01} .

Виходячи з того, що швидкість подачі ниток скалом ССННО $V_{ССН}$ дорівнює відхиленню реальної швидкості подачі ниток основи V_1 від бажаної V_{01} , запишемо:

$$V_{ССН} = \Delta V(t) \quad (2.23)$$

або

$$V_{ССН} = V_{01} - V_1. \quad (2.24)$$

У цьому випадку рівняння (2.15) прийме вигляд:

$$T_{CP} = T_1 \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{01} - V_1}{V_1} \right] + EF \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{01} - V}{V_1} - 1 \right]. \quad (2.25)$$

Після низки перетворень отримаємо:

$$T_{CH} = T_1 \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{01}}{V_1} + 1 \right] + EF \left[\frac{V_2 Y}{V_1} - \frac{V_{01}}{V_1} \right]. \quad (2.26)$$

У рівнянні (2.26) відсутнє значення швидкості подачі ниток основи скалом ССННО, однак присутнє значення дійсної швидкості подачі ниток основи з навоїв V_1 , яка в процесі роботи ВМ змінюється, що в свою чергу веде до зміни значення середнього натягу ниток основи T_{CP} . З цього випливає, що у випадку, коли швидкість подачі ниток основи скалом ССННО буде дорівнювати відхиленню дійсної швидкості подачі ниток основи V_1 від необхідної V_{01} , постійність значення середнього натягу ниток основи буде забезпечена. Аналіз рівнянь (2.7), (2.8), (2.26) показує, що причина такого явища полягає в тому, що нитки основи з навою подаються під натягом T_1 , а скало ССННО подає під натягом T_i . У цьому випадку величини подачі ниток основи з навою і скалом в ненавантаженому стані за час Δt будуть різними.

Дійсна величина подачі ниток основи з навоїв в ненавантаженому стані T_{1i} за час Δt , представлена як сума:

$$l_{1i} = l_{01i} + \Delta l_{1i}, \quad (2.27)$$

де l_{01i} – величина подачі ниток основи з навоїв в ненавантаженому стані за час Δt , що забезпечує необхідний середній натяг ниток основи;

Δl_{1i} – відхилення дійсної величини подачі ниток основи l_{1i} від необхідної l_{01i} .

Припустимо, що:

$$l_{CCHi} = \Delta l_{1i}, \quad (2.28)$$

тоді рівняння балансу довжин ниток (2.6) з врахуванням рівнянь (2.27) і (2.28) прийме вигляд:

$$l_{01i} + l_{CДН} - l_{2i} - l_{3Pi} = l_{ДФi}. \quad (2.29)$$

Перетворюючи рівняння (2.29), аналогічно (2.7) – (2.15), отримуємо значення середнього натягу ниток основи:

$$T_{CP} = T_1 \frac{V_2 Y}{V_1} + EF \left(\frac{V_2 Y}{V_{01}} - 1 \right). \quad (2.30)$$

У рівнянні (2.30) відсутні величини, які змінюються в процесі роботи ВМ. У випадку, коли $l_{CCHi} = \Delta l_{1i}$, середній натяг ниток основи при спрацюванні навоїв буде постійний.

Визначимо швидкість подачі ниток основи скалом ССННО, при якій середній натяг ниток основи буде постійним. Для цього, рівняння (2.28) запишемо з врахуванням виразу (2.7):

$$\frac{EF \Delta l_{1i}}{T_1 + EF} = \frac{TF \Delta l_{CCHi}}{T_{CPi} + EF}, \quad (2.31)$$

де T_{CPi} – поточне значення середнього натягу ниток основи.

Розділивши рівняння (2.31) на Δt , визначимо необхідну швидкість подачі ниток скалом ССННО:

$$V_{CCH} = \left(\frac{T_{CPi} + EF}{T_1 + EF} \right) \Delta V_{1i}, \quad (2.32)$$

де ΔV_{1i} – відхилення дійсної швидкості подачі ниток основи з навою від необхідної.

2.3. Аналіз особливостей дії СДННО на нитки основи

В основу вибору оптимальних варіантів дії СДННО на нитки основи покладено необхідність виконання раніше визначеної вимоги – мінімізація розмахів коливань натягу ниток основи в середині кожного циклу петлеутворення.

Розглянемо варіант роботи СДННО, при якому коливання натягу ниток будуть відсутні. Для цього проведемо аналіз виразу коливань натягу ниток основи відносно середнього значення (2.20). З рівняння (2.20) випливає, що коли:

$$V_{СДН}(t) = V_{3П}(t), \quad (2.33)$$

тоді $T_{Дi} = 0$, тобто коливання натягу ниток основи відносно середнього значення будуть відсутні.

Помноживши обидві частини рівняння (2.33) на t , отримаємо:

$$P_{СДННО}(t) = P_{3П}(t), \quad (2.34)$$

де $P_{СДННО}(t)$ – функція подачі ниток основи скалом СДННО;

$P_{3П}(t)$ – приведена функція вживання ниток в зоні петлеутворення.

Для обох частин рівняння (2.24), на основі (2.12) і (2.13), буде справедливо:

$$\sum_{i=1}^n P_{СДННО}(t) = 0; \quad (2.35)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{3П}(t) = 0. \quad (2.36)$$

Виходячи зі цього, зазначимо, що для повного усунення коливань натягу ниток основи відносно середнього значення необхідно, щоб функція подачі ниток основи скалом СДННО відпові-

дала приведеній функції вживання ниток основи в зоні петлеутворення.

Виконані дослідження [27], показали, що приведеній функції вживання ниток основи в зоні петлеутворення відповідає нелінійна складова функції вживання ниток основи, методика визначення якої описана в роботі [247].

2.4. Вибір показника оцінки ефективності роботи ССННО

Основним призначенням ССННО є підтримка постійності середнього (заправного) натягу ниток основи протягом всього періоду роботи ВМ – періоду спрацювання навоїв. Виходячи з цього, основою для оцінки ефективності роботи ССННО є графік середнього натягу ниток основи за весь період спрацювання навоїв.

Проведені дослідження систем подачі ниток ОВМ і ВПМ показали, що суттєвий вплив на постійність середнього натягу ниток основи має вид встановленого на ВМ механізму подачі ниток [6, 12, 15]. Тому можлива ситуація, коли на ВМ з малоефективним ССННО і високоефективним механізмом подачі ниток основи буде більш постійний середній натяг ниток, ніж на ВМ з високоефективним ССННО і малоефективним механізмом подачі ниток основи. Для виключення такої ситуації, при оцінці ефективності роботи ССННО бажано створити однакові умови порівнянь. З цією метою запропоновано показник оцінки ефективності роботи ССННО – степінь стабілізації середнього натягу ниток основи:

$$\alpha = \frac{\Delta A_0 - \Delta A}{\Delta A_0} \cdot 100 \%, \quad (2.37)$$

де ΔA_0 – абсолютне максимальне відхилення поточного середнього натягу ниток основи від заданого (заправного) при відсутності ССННО і при заданій зміні величини подачі ниток основи;

ΔA – абсолютне максимальне відхилення поточного середнього натягу ниток основи від заданого (заправного) при використанні ССННО і при заданій зміні величини подачі ниток.

Вибір заданої величини зміни подачі ниток основи представляє собою деякі складності. Так, задання величини і характеру зміни подачі ниток для оцінки ефективності роботи ССННО в пе-

рехідних періодах (пуск, зупинка) ВМ і в сталому режимі повинні бути різними. Це впливає з того, що у реальних умовах процес зміни подачі ниток основи в сталому режимі роботи ВМ викликано безпосередньо спрацюванням навоїв і може розглядатися як “квазистатичний” процес. Зміна подачі ниток основи в перехідних періодах роботи ВМ – процес короткотривалий, час якого обмежено утворенням максимум декількох десятків петельних рядів, і супроводжується динамічними процесами, що відбуваються в механізмах петлеутворювальних органів, механізмі подачі ниток основи, СННО тощо [6, 12].

Розглянемо варіант завдання фіксованої зміни величини подачі ниток основи при сталому режимі роботи ВМ за фіксованою зміною значення середнього натягу ниток основи ΔT_{CP} . Маючи значення жорсткості ниток основи c_H на ділянці між навоєм і зоною петлеутворення, запишемо:

$$\Delta T_{CP} = c_H \Delta l_\phi, \quad (2.38)$$

де Δl_ϕ – фіксована зміна величини подачі ниток основи.
З виразу (2.38) визначимо:

$$\Delta l_\phi = \frac{\Delta T_{CP}}{c_H}. \quad (2.39)$$

Як показали проведені дослідження, в сталому режимі роботи текстильних машин за рахунок спрацювання навоїв можлива зміна середнього натягу ниток основи, при цьому найбільш часто величина цієї зміни досягає 30 % рівня відносно значення середнього (заправного) натягу ниток основи, що і взято за основу [12, 151, 278–280]. В цьому випадку, фіксована зміна величини подачі ниток основи дорівнює:

$$\Delta l_\phi = 0,3 \frac{T_{CP}}{c_H}. \quad (2.40)$$

Недоліком розглянутого варіанта є залежність величини фіксованої зміни подачі ниток основи від значення середнього (заправного) натягу.

Інший варіант фіксованої зміни величини подачі ниток основи враховує взаємодію ССННО з механізмом подачі. В більшості ОВМ в основі такої взаємодії покладено трипозиційний характер взаємодії, при якій скало ССННО своїм положенням задає ре-

жим роботи механізму подачі ниток основи через датчик, який має три робочих положення: верхнє, середнє і нижнє [12, 114, 117]. Як правило, віддаль між верхнім і нижнім положенням датчика для більшості ОВМ становить 5–10 мм переміщення скала, що наближено дорівнює зміні величини подачі ниток основи від 5 до 10 мм. Враховуючи зазначене, для оцінки ефективності роботи ССННО в сталому режимі роботи за другим варіантом запропоновано приймати величину фіксованої зміни в подачі ниток основи ~ 10 мм.

Для оцінки процесу безпосередньої “реакції” ССННО на відхилення в подачі ниток основи може бути використано показник, що характеризує чутливість ССННО до змін в подачі ниток:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_C}{\Delta l_\phi} \cdot 100 \%, \quad (2.41)$$

де Δl_ϕ – величина фіксованої зміни в подачі основи;

Δl_C – величина подачі ниток основи ССННО як реакція на її фіксовану зміну.

Якщо різницю між Δl_C і Δl_ϕ представити значенням δl то вираз (2.54) прийме вигляд:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\delta l}{\Delta l_\phi} \right) \cdot 100 \%. \quad (2.42)$$

Показник ε разом зі значенням δl дає більш повну уяву про роботу ССННО, при цьому ε може мати як позитивне, так і від’ємне значення. У випадку від’ємного значення, процес подачі ниток основи ССННО знаходиться в протифазі з процесом зміни в подачі ниток основи, що є неприпустимим. Оптимальним значенням показника ε є варіант, коли $\varepsilon = 100 \%$. У цьому випадку ССННО повністю компенсує зміни в подачі основи і змін значення середнього натягу ниток основи не виникає. Якщо $\varepsilon < 100 \%$ – зміни в подачі основи повністю не компенсовані, а при $\varepsilon > 100 \%$ – “перекompенсовані”, що також є недоліком в роботі ССННО.

Для врахування більшості можливих варіантів відхилення в подачі ниток, показники α та ε визначаються для чотирьох часових режимів додаткової подачі 10 мм ниток основи з навою за умови лінійної залежності:

- 1) за одну секунду, потім за одну секунду відбувається вибірка 10 мм ниток основи;
- 2) за десять секунд, потім за десять секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи;
- 3) за 100 секунд, потім за 100 секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи;
- 4) за 1000 секунд, потім за 1000 секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи.

Перший та другий часові режими характерні для перехідних режимів роботи ВМ [12, 30–35], а третій та четвертий – для спрацювання навоїв в сталому режимі роботи.

Показник ε може бути використаний і для оцінки чутливості ССННО до високочастотних коливань натягу ниток основи. У цьому випадку фіксоване відхилення в подачі ниток замінюється максимальним розмахом коливання витрати ниток основи в нелінійній складовій функції вживання ниток основи Δl , а рівняння (2.41) прийме вигляд:

$$\varepsilon' = \frac{\Delta l_c}{\Delta l_{nc}} \cdot 100 \% . \quad (2.43)$$

При виборі динамічних параметрів ССННО, що забезпечують його нечутливість до високочастотних (циклових) коливань натягу ниток основи, необхідно добиватися щоб ε' максимально наближалася до нульового значення.

2.5. Вибір показника оцінки ефективності роботи СДННО

Основним призначенням СДННО є зменшення розмахів коливань натягу ниток основи відносно середнього (заправного) значення в середині кожного циклу петлеутворення. Виходячи з цього, основою для оцінки ефективності роботи СДННО є циклограма коливань натягу ниток основи.

На рис. 2.4 зображено коливання натягу ниток основи за один цикл петлеутворення при використанні на основов'язальних машинах СДННО, що мають різні конструктивні параметри [110].

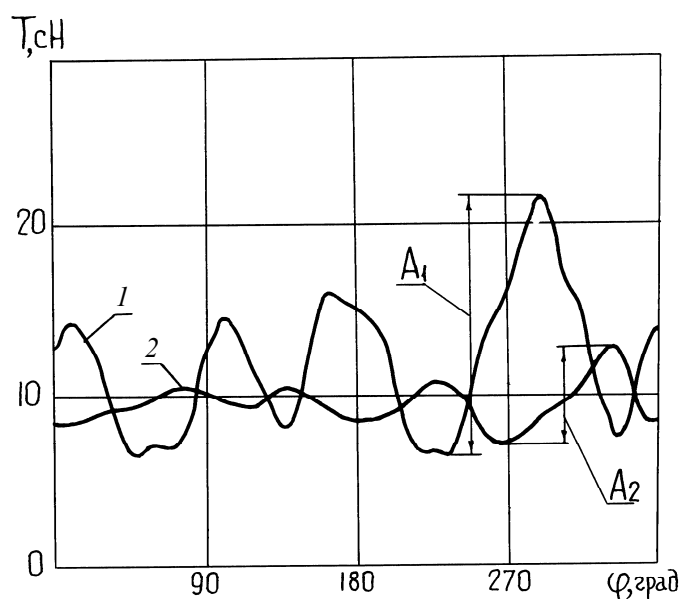


Рис. 2.4. Осцилограми коливань натягу ниток основи

Порівнюючи максимальні розмахи B_1 та B_2 на циклограмах можна зробити висновок про перевагу СДННО однієї конструкції відносно іншої. Однак при цьому не виключено, що більш “ефективний” СДННО не тільки не зменшує, а й збільшує розмахи коливань натягу ниток основи.

Для запобігання такого випадку, за основу порівняння при оцінці ефективності роботи СДННО запропоновано брати максимальні значення розмахів коливань натягу ниток основи при відсутності СДННО [62, 250]. В цьому випадку величина відносного зменшення максимального розмаху коливань натягу ниток основи дозволить більш об’єктивно оцінити ефективність роботи СДННО і може бути представлена у наступному вигляді [62]:

$$\beta_i = \frac{B_{0i} - B_i}{B_{0i}} \cdot 100 \%, \quad (2.44)$$

де B_{0i} – величина розмаху коливань натягу ниток основи при відсутності СДННО;

B_i – величина розмаху коливань натягу ниток основи при використанні СДННО;

i – номер значущого розмаху коливань натягу ниток основи (за один цикл петлеутворення може бути декілька значущих розмахів коливань натягу ниток основи).

Назвемо показник β_i – ступенем стабілізації динамічного натягу ниток основи. Враховуючи, що коефіцієнт жорсткості ниток основи на ділянці від навою до петлеутворювальних органів в процесі петлеутворення залишається практично незмінним, використовуючи залежність між натягом нитки і її видовженням, запишемо цей показник через розмахи коливань видовження ниток основи [146]:

$$\beta_i = \frac{c_{0i} - c_i}{c_{0i}} \cdot 100 \%, \quad (2.45)$$

де $c_{0i} = B_{0i} / c_H$ – величина розмаху коливань видовження ниток основи на ділянці від навою до зони петлеутворення при використанні СДННО;

$c_i = B_i / c_H$ – коефіцієнт жорсткості ниток на ділянці від навою до зони петлеутворення.

Маючи числові значення показників β_i для різних конструкцій СДННО, що встановлені на ВМ різних моделей, можна зробити висновок про переваги тої чи іншої конструкції СДННО.

2.6. Розробка стенда для моделювання роботи СННО у системі заправки ниток основи ВМ

Найбільш надійним способом підтвердження достовірності результатів аналітичних досліджень СННО є проведення експериментальних досліджень. Як правило, експериментальні дослідження СННО проводяться на діючих ОВМ і ВПМ. Такий підхід дозволяє отримати найбільш об'єктивні і точні результати, однак при цьому йому притаманна низка суттєвих недоліків [12, 18, 19, 62]:

- тимчасове виведення з виробничого циклу ВМ;
- підвищення ймовірності поломки та рознагодження ВМ в процесі експериментальних досліджень;
- обмеження можливості встановлення на ВМ принципово нових СННО, пов'язане зі зміною конструкції ВМ;
- обмеження можливості використання великого комплексу експериментальної апаратури;
- відсутність можливості експериментальних досліджень СННО в швидкісних режимах перспективних моделей ВМ.

Перерахованим недолікам можна запобігти при проведенні комплексу експериментальних досліджень на спеціальному стенді (після аналітичних досліджень) і, у випадку необхідності, продовжити експериментальні дослідження на ВМ. При такому підході, стенд може забезпечити проведення експериментальних досліджень СННО в умовах максимально наближених до реальних, а також враховувати перспективи удосконалення конструкцій ВМ. З врахуванням зазначеного, було розроблено і виготовлено стенд (рис. 2.5), який дозволяє моделювати роботу СННО різних конструкцій і принципу дії в пружній системі заправки ниток основи ВМ [283].

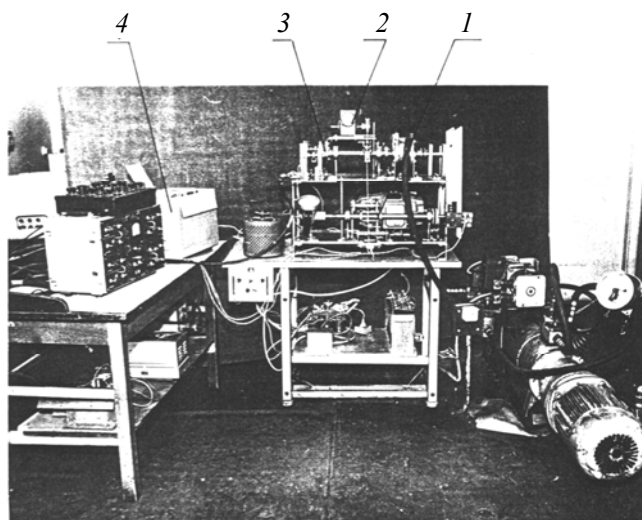


Рис. 2.5. Стенд для експериментальних досліджень СННО

Для проведення комплексних експериментальних досліджень ССННО і СДННО, у стенді передбачені наступні можливості:

– забезпечення відтворення практично будь-якого закону витрати ниток петлеутворювальними органами як за характером, так і за швидкістю;

– моделювання процесу зміни величини подачі ниток, що викликано спрацюванням навоїв і динамічними процесами у перехідних режимах;

– проведення досліджень СННО принципово різних конструкцій (гідравлічні, механічні, електромеханічні тощо);

– забезпечення запису у широкому діапазоні різних за природою параметрів (гідравлічних, електричних, механічних, коливань скала СННО, натягу ниток основи в зоні петлеутворення, частоти обертання головного вала, кута повороту головного вала та ін.). В основу конструкції стенда покладено блочний принцип, що забезпечує швидкість і гнучкість переналагодження. Основними при цьому є три блоки (рис. 2.5):

– формування закону збурення (поз. 1, 2);

– стабілізація натягу ниток основи (поз. 3);

– реєстрація параметрів (поз. 4).

Блок формування закону збурення дозволяє моделювати практично любий закон циклових коливань вживання ниток основи петлеутворювальними органами, а також зміни величини подачі ниток, що викликано спрацюванням навоїв і перехідними процесами.

Блок стабілізації натягу ниток основи розроблено з врахуванням можливості встановлення на його платформі різних за принципом дій (пасивних і активних) і конструктивному виконанню СННО.

Блок реєстрації включає в себе різну апаратуру та прибори, що фіксують необхідні параметри, наприклад: напругу і струм в мережі, тиск масла в гідросистемі, тиск повітря в пневмосистемі та інше. Однак найбільш важливі параметри, що реєструються на стенді це натяг шнура (натяг ниток) в різних зонах, переміщення скала СННО, деформація пружних елементів пасивних СДННО, кут повороту головного вала.

Для реєстрації вказаних параметрів використовуються тензометричні [235, 241] і фотометричні [12] датчики, які в раніш проведених дослідженнях [247–249] показали високу точність і швидкість, при цьому вони практично не вносили зміни в досліджуваний процес. Використання цих датчиків дозволяє фіксувати необхідні параметри на фотопапері або фотоплівці, для чого в блок включено спеціальну апаратуру: восьмиканальний тензометричний підсилю-

вач 1, електронно-променеви́й осцилограф 2 і шлейфови́й осцилограф 3.

Конструкція стенду передбачає можливість застосування системи LabView [336].

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) – середовище розробки лабораторних віртуальних приладів) представляє собою середовище графічного програмування, яке широко використовується у промисловості, освіті і науково-дослідних лабораторіях в якості стандартного інструменту для збору даних і управління приладами. Це потужне і гнучке середовище, яке використовується для проведення вимірювань і аналізу даних.

LabVIEW – багатоплатформове середовище для використання на комп'ютерах з різними операційними системами. Персональні комп'ютери є більш гнучкими інструментами, ніж традиційні вимірювальні прилади, тому створення власної програми на LabVIEW робить розробку програм і їх використання цікавим і захоплюючим заняттям.

LabVIEW також вміщує стандартні бібліотеки функцій та інструментальних засобів, призначених для створення систем збору даних і систем автоматизованого управління.

Обладнання “National Instruments” широко використовується при проведенні лабораторних практимумів, досліджень, експериментів і дистанційного навчання.

Використання цього програмного продукту та обладнання забезпечує наступні переваги:

- можливість проведення експериментів при виконанні і наукових досліджень на новітній елементній базі;
- простота узгодження апаратної і програмної частин єдиної інформаційно-вимірювальної системи;
- швидка конфігурація і налагодження вимірювальних каналів;
- достатньо проста реалізація різних методів вимірювань в одному експерименті і тим самим підвищення їх точності;
- можливість дистанційного виконання експериментальних досліджень;
- можливість запам'ятовування, зберігання, аналізу і обробки великих масивів експериментальних даних в середовищі LabVIEW і їх передачі в інші програмні середовища для інженерних розрахунків;
- реалізація достатньо складних алгоритмів експериментальних даних.

Висновки

1. На основі аналізу відомих пружних систем заправки ниток основи ВМ розроблена математична модель натягу ниток в зоні петлеутворення, яка включає вирази для визначення поточного значення натягу ниток основи і його складових – середнього та динамічного натягу ниток основи.

2. Визначено умови взаємодії стабілізаторів натягу ниток основи з нитками основи в пружній системі заправки ВМ, при яких забезпечується постійність середнього натягу та відсутність (мінімізація) динамічного натягу ниток основи.

3. Запропонована методика оцінки ефективності роботи стабілізаторів середнього та динамічного натягу ниток основи, в основу яких покладено показники оцінки роботи стабілізаторів і фіксовані відхилення подачі основи в пружній системі заправки ВМ.

4. Розроблено універсальний стенд для експериментальних досліджень стабілізаторів середнього та динамічного натягу основи в умовах, максимально наближених до виробничих.

Розділ 3

АВТОМАТИЗАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СННО

Математична модель натягу ниток основи (2.9) є дещо узагальненою, в якій не враховано конструктивні особливості СННО. У випадку врахування закону переміщення скала ССННО та СДННО отримаємо, як мінімум, систему трьох диференціальних рівнянь для визначення закону зміни натягу ниток основи. Розв'язання таких систем трудомісткі і наближені [12, 56, 110]. При необхідності заміни в системі пружної заправки ССННО або СДННО на інший, принципово новий, система диференціальних рівнянь потребує нового розв'язання, яке вимагає суттєвих витрат часу. При дослідженні натягу ниток основи в перехідних періодах (пуск, зупинка) роботи ВМ розв'язання системи диференціальних рівнянь теж суттєво ускладнюється, а результати не завжди адекватні.

Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є створення або використання вже існуючих систем автоматизованого проектування приводів і динамічних систем, які знайшли застосування в машинобудуванні при розробці роботизованих комплексів, літальних апаратів, складних будівельних машин тощо. Як показала практика, використання систем автоматизованого проектування, на основі сучасних математичних методів і комп'ютерної техніки, дозволяє підвищити якість проектування динамічних систем і скоротити час їх розробки.

3.1. Вибір системи автоматизованого проектування

У міру удосконалення обчислювальних систем, числових методів і програмування значний розвиток і використання отри-

мали системи автоматизованого проектування. Окремі програми аналізу робочих процесів замінили програмні комплекси і системи моделювання, які дозволяють всебічно досліджувати динамічні системи і проводити оптимізацію їх параметрів. Впровадження таких комплексів в практику роботи проектних організацій дозволило скоротити строки розробки, підвищити якість проектування, на ранніх стадіях проводити оцінку факторів, що раніше виконувалась тільки експериментально і т.д. Програмні комплекси, що були розроблені в ММКБ "Родина" [284–286], ІТК АН ЕРСР [287, 288], інших організаціях колишнього СРСР [289–295] і за кордоном [296–298], є прикладами комплексного підходу до проблеми програмування задач дослідження приводів і динамічних систем, при цьому вони відрізняються предметною направленістю, широтою проблемних задач, ступенем практичного відпрацювання.

Однак експлуатація програмних комплексів виявила і їх суттєвий недолік. Всі вони написані на мовах високого рівня (PL, ФОРТРАН), на мовах моделювання (СИМПАК, СЛЕНГ, АЛСИМ-БЭСМ, ПРИЗ та ін.) та орієнтованих на взаємодію з програмістом, а не з розробником привода, тому що вимагають специфічних знань і навиків з програмування, числових методів та організації обчислювального процесу. Опосередкована участь проектувальника в роботі з обчислювальною системою знижує продуктивність праці і негативно впливає на якість проектування.

Відмічений недолік характерний для більшості прикладних цифрових ЕОМ, виходячи з цього була сформульована нова концепція в розвитку обчислювальних систем, що проявилася при створенні персональних ЕОМ. Суть цієї концепції полягає в максимальній проблемній орієнтації зовнішніх зв'язків обчислювальної системи. Відносно програмних комплексів, що обслуговують процеси проектування, проблемна направленість реалізувалась в створенні пакетів прикладних програм, в яких всі операції наближені до реальних процедур проектування, а для опису об'єкта проектування та формування завдання розроблено спеціально орієнтовану мову завдання вхідних даних [273, 300]. У ППП автоматизовано більшість формальних операцій таких, як формування математичної моделі, вибір методів рішення, налагоджування алгоритмів, формування виду вихідних результатів тощо.

Коллектив проектувальників, який взаємодіє з ППП, створює систему автоматизованого проектування, в якій закладені мож-

ливості комплексного використання ЕОМ, сучасних математичних методів і найбільш ефективних методів проектування. Досвід роботи САПР у різних галузях машинобудування показав, що створення таких систем – кардинальний спосіб вирішення протиріч між ускладненням об'єктів проектування, вимогою підвищення якості проектування та скороченням строків розробки. Для САПР у радіоелектроніці та інших галузях створені і успішно функціонують десятки різних ППП [273, 301, 302], сформована і успішно розвивається теорія автоматизованого проектування.

Для взаємодії з ППП повинна бути вибрана форма представлення динамічної системи, що однозначно задає її структуру і значення параметрів, відносно яких система розглядається на схемотехнічному етапі. Вибір форми представлення – це важливий момент у побудові або виборі ППП, оскільки вона практично повністю визначає структуру вхідної мови, об'єднувального ланцюга між проектувальником та ППП. Від того, наскільки зручна і звична мова для проектувальника привода, на стільки він оперативний і адекватно реагує на реальні ситуації проектування, значною мірою залежить продуктивність САПР, точність отриманих результатів, функціональні можливості.

Прийнята форма представлення привода суттєво впливає і на склад всіх модулів ППП транслятора; блоків формування; формування і розв'язання математичних моделей; блока виконання проектних операцій; редагування і видачі результатів тощо. Таким чином, форма представлення привода повинна вибиратися на основі системного аналізу взаємодії всіх компонентів САПР, включаючи проектувальника, ППП та його виконавчі модулі.

Вхідна інформація на схемотехнічному етапі проектування – принципова схема. Тому з точки зору проектувальника в якості елементів найбільш зручно розглядати конструктивні і функціональні блоки, з яких побудована динамічна система. Тоді опис динамічної системи, що проектується, може бути складений на основі звичайної принципової схеми після деякого доопрацювання, що полягає в нумерації вузлів підключення елементів.

При розробці ППП динамічної системи, коли в якості її складових елементів прийнято конструктивні блоки, в системні бібліотеки (банк даних) вносяться математичні моделі елементів, розроблені для достатньо загальної області використання ППП.

Принцип представлення привода у вигляді комбінації функціональних блоків широко використовується в ППП для САПР приводів і динамічних систем. На його основі розроблені ГІДРА [304], MAPC [290, 305], DSH, HASP, PERSIM [306, 307] та інші ППП, а також ряд пакетів автоматизованого управління [292, 303] та приводів [286, 289]. Однак вибір функціональних вузлів в якості елементів має і суттєві недоліки, основний з яких – необхідність роботи з математичними моделями великих функціональних блоків. У загальному випадку система рівнянь, що описує один з блоків і знаходиться в системній бібліотеці, виявляється або занадто точною, що призводить до невиправданих витрат машинного часу, або навпаки, недостатньо точною для конкретного завдання. Поповнення СБ новими математичними моделями, як правило, процес трудомісткий і веде до суттєвого збільшення строків проектування.

Суттєвим недоліком цього способу є також відсутність у проектувальника оперативної інформації про враховані параметри, способи представлення нелінійних залежностей тощо, тобто про фізичне представлення, що прийняте при створенні математичної моделі блока. Вказаний недолік не дозволяє використати принцип представлення системи натягу ниток основи у вигляді комбінації функціональних блоків. Опис математичних моделей в документації у вигляді системи нелінійних рівнянь більше орієнтовано на математика-програміста, ніж на розробника приводів.

Перераховані недоліки обумовлюють необхідність представлення проектувальнику засобів, що дозволять йому оперативно за допомогою тільки вхідної мови задавати як склад, так і фізичне представлення об'єкта проектування. В цьому випадку він отримує можливість створювати моделі елементів, що найбільш підходять для конкретного застосування, описувати нові конструкції, змінювати моделі в процесі проектування, виконуючи, наприклад, попередні дослідження за спрощеними моделями, а вже потім ускладнювати їх у міру опрацювання всієї системи.

Спосіб, що дозволяє реалізовувати перераховані можливості, – є представленням динамічної системи і її елементів у вигляді електричного кола. В роботах S. Seely [306], А. Ленка [307], Г.Е. Кеніга В.А. Блекуелла [308], К. Райншке [309], В.В. Берднікова [310, 311], Б.Ф. Глікмана [312] та інших показано, що будь-яку фізичну систему, що формується системою зосереджених параметрів, можна представити у вигляді електричного кола, що складається з

об'єднаних між собою через зовнішні вузли (полюси) типові компоненти.

Для систем пружних заправок ниток основи ВМ найбільш прийнятною формою представлення є також електричне коло. В цьому випадку такі елементи системи, як стабілізатори середнього натягу та динамічного натягу ниток основи можна представити у вигляді окремих кіл, які взаємодіючи з нитками основи об'єднані в загальне коло, що включає навої, відтяжний вал та інші елементи.

Досвід створення та експлуатації ППП, побудованих для автоматизації схмотехнічного проектування в радіоелектроніці на основі представлення схем у вигляді електричного кола, показав високу ефективність цього принципу представлення [301, 302]. Такі ППП, як НАР-2 [313], КАПР-3, ПАУМ-2, АРОПС, СПРОС [301], СПАРС [314], ПРАМ-ОІМ [315] успішно експлуатуються і мають розвинуту систему алгоритмів виконання різних операцій схмотехнічного проектування.

В області автоматизації проектування приводів і динамічних систем, які складаються з електронних систем управління, електро- та гідравлічних підсилювачів, електричних, гідравлічних або пневматичних двигунів, механічних передач і механізмів, трансмісій широко використовується система ПРАНС-ПК [274, 316, 317]. Переваги системи порівняно з вітчизняними та закордонними аналогами – можливість автоматизованого виконання всього комплексу робіт схмотехнічного етапу проектування динамічних систем з різними за фізичним складом елементами.

Проведений аналіз показав, що система ПРАНС-ПК є найбільш прийнятною для використання її в якості базової для автоматизації схмотехнічного проектування системи натягу ниток основи в'язальних машин.

3.2. Аналіз можливостей ППП ПРАНС-ПК при схмотехнічному проектуванні СННО

Пакет прикладних програм ПРАНС-ПК призначений для автоматизації схмотехнічного проектування приводів, систем приводів та інших динамічних систем, які включають елементи та пристрої різної фізичної природи: гідравлічні, пневматичні, механічні, електричні, електромагнітні, радіоелектронні та ін.

Пакет прикладних програм ПРАНС-ПК дає можливість розглядати об'єкт проектування в усій його складності з різноманітними внутрішніми та зовнішніми зв'язками, зважаючи на переваги кожного з перерахованих типів пристроїв для досягнення високих техніко-економічних показників складного комплексного об'єкту. При цьому пакет побудовано таким чином, що проектується безпосередньо динамічна система, а не його математична або якась інша модель (передавальна функція, структурна модель тощо). Вхідна мова пакета та ступінь автоматизації виконання проектних процедур дозволяє взаємодіяти з ним безпосередньо проектувальнику динамічної системи, оперуючи при цьому звичайними, традиційно сформованими в предметній області термінами, поняттями та методиками, що суттєво підвищують ефективність процесу проектування.

Для приводів, систем управління і систем виконавчих органів текстильних машин, зокрема основов'язальних і в'язально-прошивних машин, схемотехнічний етап проектування є одним з найбільш трудомістких, що охоплює всі операції, починаючи з початкового варіанта схеми і до її кінцевого, з визначенням всіх параметрів, що гарантує виконання вимог технічного завдання.

На схемотехнічному етапі виконуються розрахунки часових, статичних і частотних характеристик, оцінка найгіршого випадку, розрахунок коефіцієнтів чутливості, параметрична оптимізація, розрахунок оптимальних допусків, статистичний аналіз, спектральний аналіз, моделювання типових режимів роботи об'єкта, багатоваріантний аналіз та інші операції.

Пакет прикладних програм ПРАНС-ПК відповідає жорстким вимогам промисловості, має порівняно з вітчизняними та закордонними аналогами широкий набір операцій, високу продуктивність, можливість легко адаптуватися до різних умов, досвід промислової експлуатації.

Він може виконувати операції, більшість з яких передбачає використовувати при проектуванні СННО в'язальних машин:

1. Розрахунок часових характеристик. При заданій конфігурації схеми і значеннях внутрішніх параметрів проводиться розрахунок часових характеристик при довільних законах змін зовнішніх впливів. Результати розрахунків можуть бути отримані у вигляді графіків і таблиць. Склад змінних у вихідних документах задається користувачем і може включати різноманітні зміни, зокрема для систем натягу ниток основи – це, перш за все,

деформація, натяг, швидкість руху ниток основи в зону петлеутворення, переміщення і швидкості скал стабілізаторів натягу ниток основи. Можлива додаткова обробка вихідних характеристик з метою отримання максимальних і мінімальних значень змінних у фіксований момент часу, час регулювання тощо.

2. Розрахунок частотних характеристик. Такі характеристики для довільного співвідношення “вхід–вихід” можуть бути отримані в натуральному та логарифмічному масштабі. Залежно від особливостей математичної моделі динамічної системи запропоновано автоматизовані методи лінеаризації і різні методи розрахунку частотних характеристик. Виходячи з того, що в пружній системі заправки основи використовуються одночасно механізми, що описуються лінійними і нелінійними функціями, які діють на нитки основи і отримують зворотній вплив при різних частотних і амплітудних значеннях, запропонована операція викликає інтерес.

3. Розрахунок сталого стану. Визначаються значення заданих користувачем змінних для сталого режиму, що відповідає довільному стану і відповідному довільному варіанту вхідного впливу. Режим може використовуватися як самостійний або як початковий етап в комбінації з часовим та частотним аналізом, що викликає значний інтерес при проектуванні СННО, тому що тільки підтримка протягом робочої зміни визначеного сталого стану в пружній системі заправки ниток основи ВМ дозволяє отримувати повністю високої якості.

4. Спектральний аналіз. Результатами виконання цього виду дослідження привода може бути лінійчатий спектр любого вхідного сигналу або набір вихідних характеристик: максимальна амплітуда спектра, резонансні характеристики тощо. Проведення спектрального аналізу на стадії проектування для пасивних СННО дозволяє оцінити можливість та запобігти виникненню резонансних явищ в їх роботі. З проведених досліджень пружних систем заправки ниток основи, які включають СДННО, відомо, що різні гармонічні складові функції збурення викликають резонансні явища в коливаннях скала СДННО, при цьому, при різних варіантах переплетення і швидкостях, порядок гармонічних складових змінюється [12, 18, 318].

5. Моделювання статичних досліджень. Цей вид аналізу призначено для визначення імовірності безвідмовної роботи об'єкта дослідження, статистичної оцінки любых вихідних параметрів, а та-

кож статистичної оцінки допустимих відхилень параметрів при заданих діапазонах зміни вихідних характеристик в часовому та частотному областях. Передбачена побудова гістограм вихідних параметрів. Виходячи з того, що імовірність безвідмовної роботи ВМ залежить від обривності ниток основи, яка визначається умовами її переробки, проведення статистичних досліджень в системі ПРАНС-ПК допомагає оцінити можливість підвищення надійності в'язального обладнання. Важливість аналізу полягає в тому, що саме від ефективності роботи ССННО і СДННО суттєво залежать умови переробки ниток основи.

6. Багатоваріантний аналіз. Побудований на багаторазовому повторенні часового, частотного, спектрального аналізів або розрахунку сталого стану. При кожному новому розрахунку синхронно або асинхронно змінюються значення виділених проектувальником параметрів. Результати можуть видаватися після кожного або після всіх видів прорахунків у вигляді послідовно накладених графіків при варіюванні параметрів.

Важливість в проведенні багатоваріантного аналізу пружних систем заправки впливає з особливостей ВМ, а саме з багатоваріантності умов їх експлуатації, що відображається в різноманітності переплетень, видів пряжі та швидкісних режимах.

7. Розрахунок найгіршого випадку. Проводиться з метою визначення граничних значень вихідних характеристик при найбільш несприятливому співвідношенні значень внутрішніх параметрів, визначених проектувальником. Граничні відхилення задаються проектувальником. З практики експлуатації і дослідження ОВМ та ВІМ відомі випадки масового обриву ниток, різкого збільшення розмахів коливань натягу, відриву ниток основи від скала СДННО, зміни значення середнього натягу ниток тощо. Всі вказані явища, як правило, призводять до погіршення якості трикотажного полотна та зниження продуктивності обладнання. Виникають вони при несприятливому співвідношенні низки параметрів елементів системи заправки ниток основи ВМ. Виконання розрахунку найгіршого випадку дозволяє не тільки оцінити можливість виникнення небажаних явищ у системі пружної заправки, а й підбором параметрів елементів системи пружної заправки уникнути небажаних явищ.

8. Параметрична оптимізація. Метою цієї проектної операції, що є однією з найбільш важливих і трудомістких при схемотехнічному проектуванні, є автоматичний пошук значень параметрів, при яких вимоги технічного завдання задовольняються найкращим

чином. Як показав раніше виконаний аналіз досліджень, оптимізацію параметрів системи заправки ниток основи ВМ необхідно проводити в двох напрямках: забезпечення підтримки незмінного середнього натягу ниток основи за час повного спрацювання навоїв; максимально можливе зменшення розмахів коливань натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення.

В складі ППП розроблено засоби для формування вимог до динамічної системи у вигляді цільових функцій та обмежень; визначення різних вихідних параметрів, за якими проводиться оцінка якості системи; ефективні методи вирішення оптимізаційних задач. Параметри пружної системи заправки, що бажано оптимізувати, це, перш за все, моменти інерції або приведені маси рухомих елементів, піддатливість, коефіцієнти згасання СДННО та ССННО, жорсткість пружної заправки тощо. Маючи в розпорядженні граничні значення робочих параметрів (моменти інерції, приведені маси, піддатливість елементів, коефіцієнти згасання систем) СДННО та ССННО можна провести їх оптимізацію.

9. Розрахунок оптимальних допусків. Метою цієї проектної операції є визначення допустимих відхилень виділеної множини параметрів динамічної системи, виходячи із заданих допустимих відхилень вихідних характеристик. Операція, як правило, виконується на завершальному етапі схемотехнічного проектування і дає можливість врахувати вплив технології виготовлення та умов експлуатації на різних етапах розробки системи.

10. Аналіз чутливості. Метою цієї проектної операції є визначення коефіцієнтів чутливості та визначених користувачем вторинних вихідних характеристик у заданій множині внутрішніх параметрів. Пакет прикладних програм ПРАНС-ПК забезпечено широкими діагностичними засобами, має в своєму складі банк даних, де вони накопичуються і можуть багаторазово використовуватися.

3.3. Моделювання СННО в системі ПРАНС-ПК

Вхідною інформацією на схемотехнічному етапі проектування динамічних систем, що представляють собою, як правило, системи з елементами різної фізичної природи, є початкові варіанти принципів схем.

Для оцінки можливості моделювання пружних систем заправки ниток основи ВМ та їх елементів (ССННО, СДННО) в системі ПРАНС-ПК в якості вхідної інформації використана принципова схема пружної заправки, що характерна для ОВМ фірм “Ліба” та “К. Майер” (рис. 3.1). Навої 1, обертаючись подають нитки основи 2 зі швидкістю V і початковим натягом у зону петлеутворення 3, при цьому нитки основи 2 огинають скало 4 СДННО. В зоні петлеутворення 3 нитки основи 2 формуються в трикотажне полотно 5 і намотуються на товарний вал 6, проходячи перед цим через систему відтяжних валів 7.

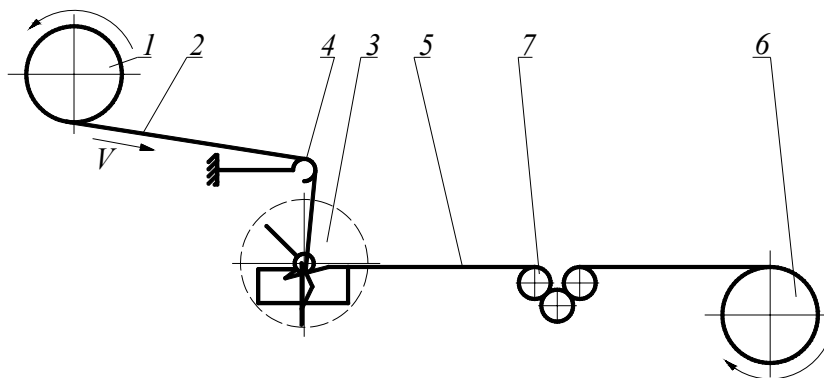


Рис. 3.1. Схема пружної заправки ОВМ

Використовуючи метод “суперпозиції” та з врахуванням результатів раніше виконаних досліджень, при моделюванні натягу ниток основи, принципову схему заправки (рис. 3.1) розділимо на дві складових [62, 111, 250, 252]:

- перша – формує середній натяг ниток (див. рис. 3.2);
- друга – формує коливання натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення (див. рис. 3.3).

У першій складовій середній натяг ниток основи формується за рахунок різниці швидкостей подачі ниток основи 2 з навою 1 і швидкості намотки готового полотна, приведеного до відповідної довжини ниток основи, відтяжним валом 7. Таким чином, отримана розрахункова модель системи “навій–нитки основи–відтяжний вал”.

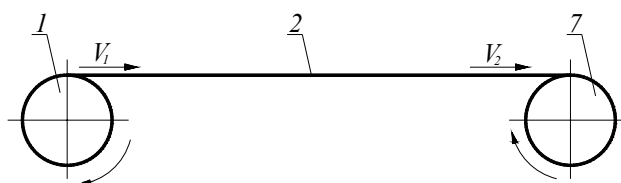


Рис. 3.2. Схема пружної заправки ОВМ при формуванні середнього натягу ниток основи

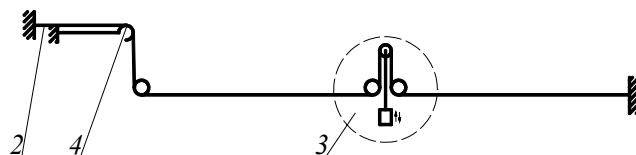


Рис. 3.3. Схема пружної заправки ОВМ при формуванні динамічного натягу ниток основи

У другій складовій (рис. 3.3) коливання натягу ниток основи всередині кожного циклу петлеутворення формуються при взаємодії робочих органів 3 (вушковини, пазові голки, платини) з нитками основи 2 і в зоні дії СДННО при взаємодії скала 4 з нитками основи 2. В цьому випадку утворюється розрахункова модель системи “СДННО–нитки основи 2–зона петлеутворення 3”.

Такий поділ виконано з метою поетапної оцінки можливості моделювання систем заправки ниток основи та їх елементів (СННО) в системі ПРАНС-ПК, що дасть більш об’єктивну і точну оцінку. Прийняте рішення викликане практично відсутністю числових і якісних результатів досліджень натягу ниток основи, характерних для запропонованої принципової схеми пружної системи заправки ВМ. При цьому результати досліджень, виділених складових, відомі і отримані на основі аналітичних [12, 109, 239, 299] і експериментальних [15, 18, 249] досліджень і можуть бути використані при оцінці можливостей моделювання пружних систем заправки ниток основи і її елементів у системі ПРАНС-ПК.

3.3.1. Модель системи “навій–нитки основи–відтяжний вал”

Раніше проведені аналітичні дослідження [12, 62, 109, 239] системи “навій–нитки основи–відтяжний вал” показали, що процес формування середнього натягу ниток основи має нелінійний ха-

раक्टर, тому для моделювання системи необхідно мати функції, що описують процеси, які відбуваються при формуванні середнього натягу ниток основи. Ці функції заносяться в системну бібліотеку програмного комплексу ПРАНС-ПК і в подальшому використовуються при моделюванні.

1. Опис нелінійних залежностей. При вирішенні поставленої задачі зроблені припущення:

- натяг ниток і полотна не перевищує значень, що знаходяться в області їх пружних деформацій;
- маса ниток основи і полотна не впливають на їх натяг і швидкість переміщення;
- швидкості переміщення ниток і полотна значно менші швидкості розповсюдження в них пружних деформацій;
- швидкості деформування ниток і полотна суттєво менші швидкості розповсюдження в них пружних деформацій.

Під час розтягу ниток основи, в них виникає напруження [50]:

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (3.1)$$

де E – модуль пружності ниток;

$\varepsilon = (\Delta l_0 - \Delta l_p) / \Delta l_0$ – відносна зміна довжини відрізка ниток;

Δl_p – довжина відрізка ниток під натягом P ;

Δl_0 – довжина відрізка ниток при відсутності натягу.

Знаючи натяг ниток P на ділянці між навоєм і відтяжним валом (див. рис. 3.2), а також поперечний переріз ниток S , запишемо вираз напруження, що виникає в нитках:

$$\sigma = P / S. \quad (3.2)$$

Прирівнявши вирази (3.1) та (3.2) отримаємо:

$$E \left(\frac{\Delta l_0 - \Delta l_p}{\Delta l_0} \right) = \frac{P}{S} \quad (3.3)$$

або

$$\frac{\Delta l_0 - \Delta l_p}{\Delta l_0} = \frac{P}{ES}, \quad (3.4)$$

звідки знайдемо

$$\Delta l_0 = \Delta l_p \left(\frac{ES}{P + ES} \right). \quad (3.5)$$

Розділивши обидві частини рівняння (3.5) на Δt отримаємо:

$$V_0 = V_p \left(\frac{ES}{P + ES} \right), \quad (3.6)$$

де V_0 – швидкість подачі або намотки ниток при відсутності натягу при фіксованій швидкості обертання навою або відтяжного вала;

V_p – швидкість подачі або намотки ниток під натягом P при фіксованій швидкості обертання навою або відтяжного вала.

Фізичний зміст уведених понять V_0 та V_p у цьому випадку наступний. Припустимо, що за час Δt відтяжним валом необхідно вибрати відрізок ниток Δl_0 при відсутності натягу. Тоді швидкість намотки відтяжного вала буде дорівнювати:

$$V_0 = \frac{\Delta l_0}{\Delta t}. \quad (3.7)$$

У другому випадку, за такий же час Δt той самий відрізок ниток, тільки під натягом P (позначимо у цьому випадку Δl_0 через Δl_p), необхідно намотати на відтяжний вал. Тоді швидкість намотки відтяжного вала буде дорівнювати:

$$V_p = \frac{\Delta l_p}{\Delta t}. \quad (3.8)$$

В обох випадках маса намотаних на відтяжний вал ниток за час Δt буде однакою, при цьому $V_p > V_0$.

Виходячи із зазначеного, легко пояснити фізичний зміст сталого режиму при різних швидкостях подачі ниток з навою та намотки ниток відтяжним валом.

Для зручності досліджень нелінійної залежності, в системі схемотехнічного проектування вираз (3.6) представлено у вигляді:

$$\Delta V = V_p - V_0 = V_p \left(1 - \frac{ES}{P + ES} \right). \quad (3.9)$$

Нелінійна залежність (3.6) занесена до бібліотеки за номером F505. Формат звертання до неї – F505 (ES,U/P).

Нелінійна залежність (3.9) занесена до бібліотеки за номером F504. Формат звертання до неї – F504 (ES,U/P).

2. Схема заміщення системи “навії–нитки основи–відтяжний вал”. Схема заміщення представляється в системі ПРАНС-ПК у вигляді ланцюга, що включає двополюсні компоненти, в якому навії представляється як джерело швидкості, що подає нитки з визначеною швидкістю V_1 [274].

Нитки основи можна представити у вигляді комбінації декількох двополюсних компонент, що характеризують пружність і демпфування [269, 270, 319]. Складність застосування більшості відомих моделей ниток основи полягає у відсутності коефіцієнтів компонент, що описують пружність і демпфування. В розробленій схемі заміщення застосована модель нитки основи [319], виконаної у вигляді паралельного з'єднання пружності (піддатливості) та демпфера, яка апробована [55].

Відтяжний вал у схемі заміщення представлено у вигляді джерела, що приймає нитки, із визначеною швидкістю V_2 , при цьому $V_2 > V_1$. Схема заміщення системи “навії–нитки основи–відтяжний вал” зображена на рис. 3.4.

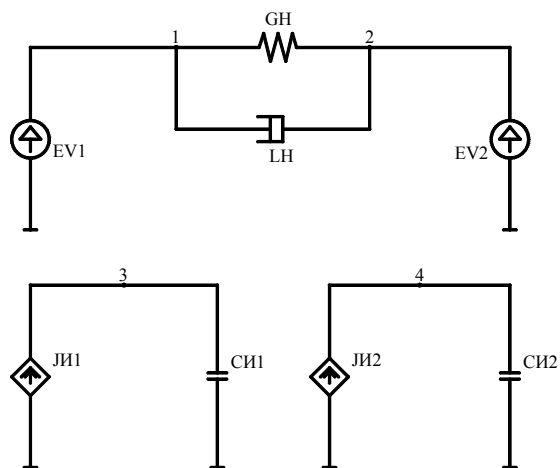


Рис. 3.4. Схема заміщення моделі системи “навії–нитки основи–відтяжний вал”

Призначення компонентів схеми заміщення наступне:

EV1 – джерело швидкості, що моделює подачу навоєм ниток основи зі швидкістю V_1 ;

LN – механічна пружність, моделює піддатливість ниток;

GN – механічне демпфування, моделює дисипацію енергії нитками основи;

EV2 – джерело швидкості, моделює вживання відтяжним валом ниток основи зі швидкістю V_2 ;

JN1, JN2 – інтегратори, призначені для визначення деформації і натягу ниток (принцип побудови наведено в [274]).

3. Числове моделювання системи. На базі розробленої моделі в складі програмного комплексу ПРАНС-ПК проведено числове моделювання схеми заміщення системи “навій–нитки основи–відтяжний вал”.

Вхідні дані взяті з реальних умов експлуатації основов’язальної машини моделі 5219 “Кокетт–2”, що широко використовується на трикотажних фабриках. Швидкість подачі ниток основи відповідає швидкості в’язання 1200 петельних рядків за хвилину, при довжині петлі 3 мм. В цьому випадку швидкість подачі ниток основи задана трьома значеннями: 59,9; 59,8 та 59,7 мм/с. Швидкість намотки готового полотна з врахуванням необхідності формування заправного (середнього) натягу ниток основи (від 3 до 10 сН), дорівнює 60,0 мм/с [4, 10]. Нитка віскозна, лінійною щільністю 8,33 текс., для якої модуль пружності $E = 414 \cdot 10^7$ Па, а площа поперечного перерізу $S = 0,005$ мм² [319].

Підставляючи вхідні дані в програму, були отримані числові значення натягу ниток у перехідних і сталому режимах при різних швидкостях подачі ниток з навою, на базі яких побудовано графічні залежності (див. рис. 3.5) зміни натягу ниток в часі для $V_1 = 59,9$ мм/с (крива 1), 59,8 мм/с (крива 2), 59,7 мм/с (крива 3).

Для оцінки точності отриманих числових значень було виконано розрахунки сталого натягу ниток при її транспортування за формулами, отриманими В.А. Радзівським, В.М. Бондарем [12] і А.Я. Мільманом [299] при одних і самих початкових даних:

- модуль пружності віскозної нитки $E = 414 \cdot 10^7$ Па;
- площа поперечного перерізу нитки $S = 0,005$ мм²;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,5$ [12];
- швидкість подачі ниток основи $V_1 = 59,9; 59,8$ та $59,7$ мм/с;

– швидкість витрати ниток основи $V_2 = 60$ мм/с.

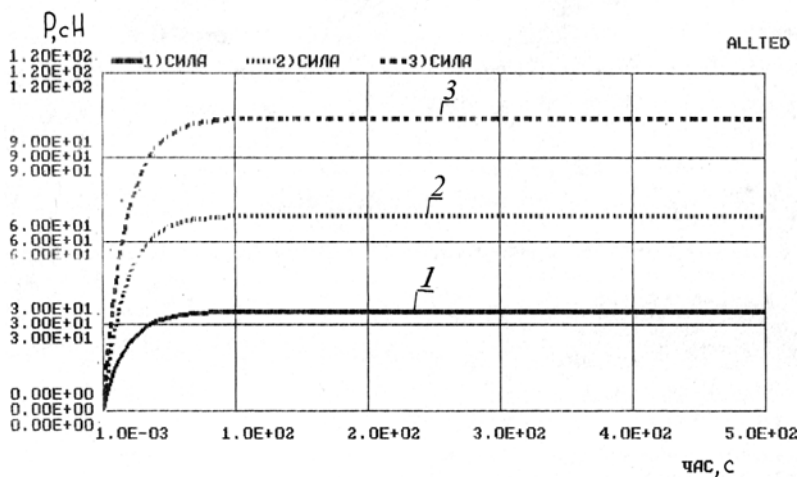


Рис. 3.5. Натяг ниток при швидкостях подачі (мм/с):
1 – 59,9; 2 – 59,8; 3 – 59,7

Результати розрахунку сталого значення натягу ниток за трьома варіантами обчислення, а також максимальне відносне відхилення значень натягу ниток, отриманих у системі ПРАНС-ПК відносно інших варіантів розрахунку, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення сталого натягу ниток основи за різними варіантами розрахунку

Швидкість подачі ниток основи з навою, мм/с	Сталий натяг ниток основи, сН			Максимальна відносна похибка, %
	Розрахунок у системі ПРАНС-ПК	За формулою В.А. Радзівського [12]	За формулою А.Я. Мільмана [299]	
59,9	3,46	3,45	3,45	0,29
59,8	6,92	6,90	6,90	0,29
59,7	10,38	10,35	10,35	0,29

З отриманих результатів випливає, що при дослідженні системи “навій–нитки основи–відтяжний вал” у системі ПРАНС-ПК,

результати мають достатньо високу точність, максимальна відносна похибка не перевищує 0,29 %.

3.3.2. Модель системи “СДННО–нитки основи”

1. Розробка схеми заміщення системи “СДННО–нитки основи”. Основою для цієї схеми є складова пружної системи заправки ОВМ, зображена на рис. 3.3.

За рекомендаціям з проектування динамічних систем у системі ПРАНС-ПК, пара “скало СДННО–нитки основи” представляється як триполіусник, що описується системою з двох рівнянь [274]:

$$\begin{cases} l_1 = l_2; \\ V_2 = V_1 \end{cases} \quad (3.10)$$

де l_1 – величина переміщення скала;

l_2 – величина збільшення довжини нитки на відрізьку між навоєм і відтяжним валом при переміщенні скала на l_1 ;

V_2 – швидкість збільшення довжини нитки на відрізьку між навоєм і відтяжним валом;

V_1 – швидкість переміщення скала.

Схема заміщення моделі СДННО представлена на рис. 3.6.

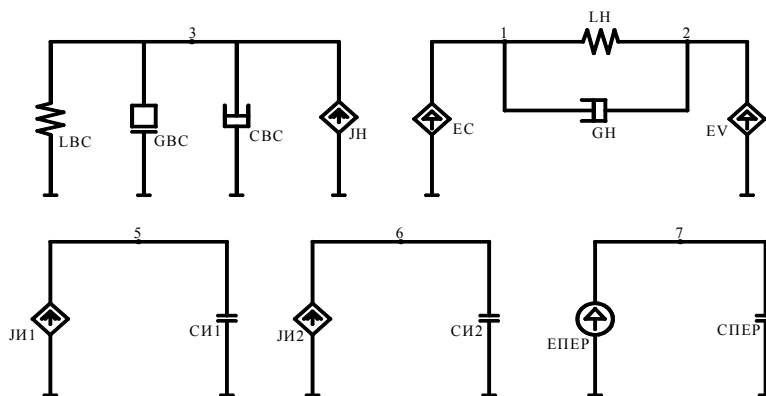


Рис. 3.6. Схема заміщення системи “СДННО–нитки основи”
Призначення компонентів схеми заміщення наступне:

ЛН – залежне джерело сили, що моделює силу, з якою нитки основи діють на скало СДННО;

ЕС – залежне джерело швидкості, що моделює швидкість подачі нитки скалом СДННО;

ЛН – механічна поступальна пружність, що моделює піддатливість ниток основи;

ГН – механічне демпфування, що моделює дисипацію енергії нитками основи;

ЛВС – механічна обертова пружність, що моделює піддатливість пружних пластин СДННО;

ГВС – механічне демпфування, що моделює дисипацію енергії СДННО;

СВС – маса інерції, що моделює приведений до скала момент інерції СДННО;

ЕV – залежне джерело швидкості, що моделює швидкість вживання ниток в зоні петлеутворення;

ЕПЕР – джерело переміщення, що моделює нелінійну складову функції вживання ниток в зоні петлеутворення;

JI1, СИ1 – інтегратор, уведений для визначення деформації нитки;

JI2, СИ2 – інтегратор, уведений для визначення переміщення скала СДННО.

2. Числове моделювання системи “СДННО–нитки основи”. Для оцінки ступеня відповідності результатів числового моделювання схеми заміщення системи “СДННО–нитки основи” реальним, вхідні дані взяті в результаті експериментальних вимірювань на стенді (рис. 2.5). Варіант складальної схеми “СДННО–нитки основи” на стенді представлено на рис. 3.7.

Всі інші вхідні дані отримані зі стенду експериментально і мають наступні значення:

- приведена до скала маса СДННО $m = 0,0065$ кг;
- коефіцієнт згасання коливань скала СДННО $\delta_1 = 0,03$;
- приведена до скала піддатливість СДННО $1/c_1 = 0,0007$ м/Н;
- коефіцієнт згасання поздовжніх коливань шнура $\delta_1 = 0,74$;
- піддатливість відрізка шнура між точками його закріплення $1/c_H = 0,00065$ м/Н.

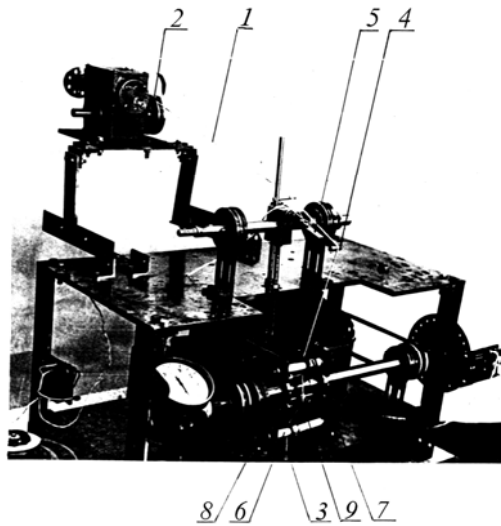


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд стенда для дослідження СДНО з консольно закріпленою підскальною пружиною

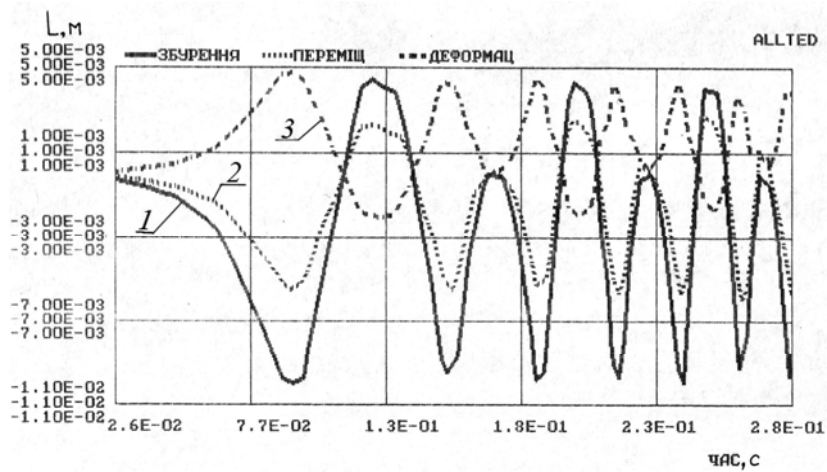


Рис. 3.8. Результати чисельного моделювання системи “СДНО–нитки основи”

Підставивши вхідні дані в програму, були отримані числові значення величини деформації та натягу шнура (нитки), переміщення скала СДНО. Результати у вигляді графічних залежностей

представлено на рис. 3.8, де криві: 1 – функція збурення (отримана експериментально нелінійна складова функції вживання ниток), 2 – переміщення скала СДННО, 3 – коливання натягу шнура.

Для визначення показника ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи, використовуючи розроблену програму, була отримана функція коливань натягу ниток основи при відсутності СДННО. Для цього в програмі обчислень значення приведеної до скала піддатливості СДННО зменшено на декілька порядків. Результати обчислень у вигляді графічних залежностей представлено на рис. 3.9, де крива 1 – функція збурення, пряма 2 – переміщення скала СДННО (показує, що скало практично нерухоме), крива 3 – коливання натягу шнура (ниток).

З графіків видно, що використання СДННО дозволяє зменшити розмахи коливань натягу шнура, при цьому за виразом (2.39), показник ступеня стабілізації динамічного натягу дорівнює 59,4 %.

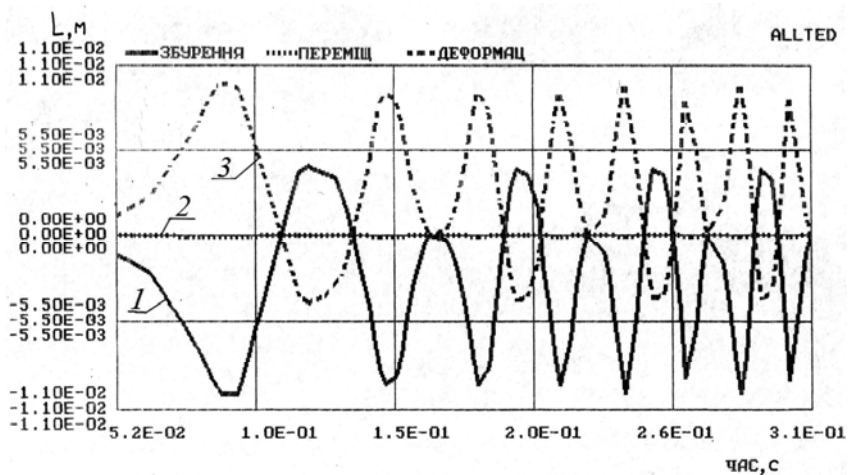


Рис. 3.9. Результати чисельного моделювання системи “СДННО–нитки основи”

3. Оцінка точності числового моделювання системи “СДННО–нитки основи”. Даними для порівняльної оцінки точності результатів, отриманих при числовому моделюванні системи “СДННО–нитки” основи в системі ПРАНС-ПК, є результати експериментальних досліджень змодельованої на стенді системи (див. рис. 3.7).

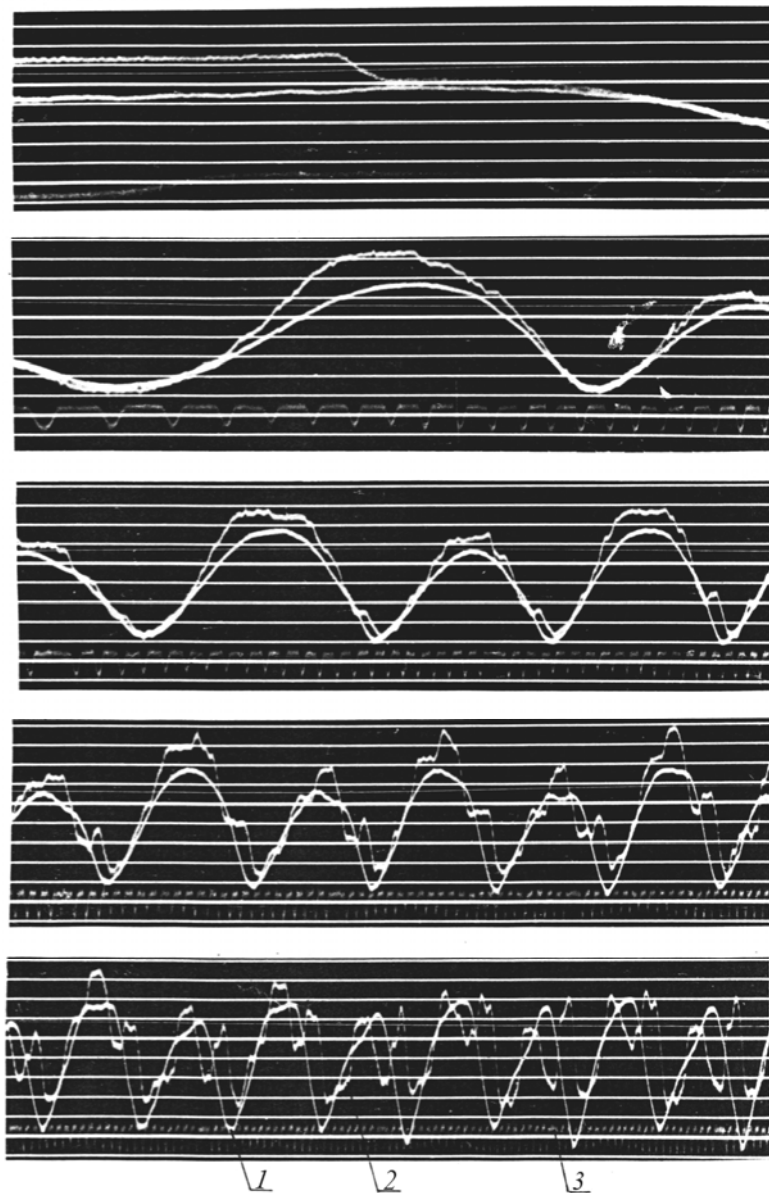


Рис. 3.10. Запис коливань натягу:
1 – шнура; *2* – скала; *3* – фіксатора повороту головного вала

В основу експериментальних досліджень покладено визначення (запис) осцилограм коливань натягу шнура (ниток основи) та коливань скала СДННО.

На рис. 3.10 представлено зразки осцилограм коливань натягу шнура – крива 1 і коливань скала – крива 2. Обробка осцилограм проведена за методикою, яка вимагає відносно незначної кількості вимірювань [320]. У результаті обробки осцилограм отримані експериментальні значення максимальних розмахів коливань натягу шнура і скала.

У таблиці 3.2 представлені експериментальні і розрахункові значення розмахів коливань натягу шнура і скала, а також відносна похибка розрахункових значень відносно експериментальних.

Таблиця 3.2

**Експериментальні та розрахункові значення
розмахів коливань натягу шнура і скала**

Величина вимірювання	Значення		Відносна похибка, %
	експериментальне	розрахункове	
Максимальні розмахи коливань натягу:			
– шнура, Н	8,12	7,83	3,57
– скала, мм	5,7	5,5	3,51

Наведені результати показують, що математична модель системи “СДННО–нитки основи” з достатньою точністю описує її роботу. До аналогічного висновку можна дійти порівнюючи характерні особливості осцилограм коливань скала та натягу шнура отриманих розрахунковим та експериментальним методами. Так, на всіх осцилограмах чітко видно моменти запізнення переміщення скала відносно функції збурення і пов’язані з цим зміни натягу шнура.

У результаті виконаного комплексу експериментально-аналітичних досліджень показана можливість використання програмного комплексу ПРАНС-ПК для автоматизації проектування та дослідження СННО в пружній системі заправки ВМ.

Висновки

1. Одним з шляхів підвищення точності і скорочення часу проектування динамічних систем в’язальних машин, в частині СННО, є автоматизоване проектування.

2. Аналіз відомих САПР з врахуванням особливостей системи натягу ниток основи показав, що система ПРАНС-ПК є найбільш прийнятною для використання в якості базової для автоматизації проектування СННО і дослідження їх роботи в пружній системі заправки ВМ.

3. Пакет прикладних програм ПРАНС-ПК дозволяє на схмотехнічному етапі виконувати розрахунки часових, статистичних і частотних характеристик, оцінку найгіршого випадку, розрахунок коефіцієнтів чутливості, параметричну оптимізацію, розрахунок оптимальних допусків, статистичний та спектральний аналіз, моделювання типових режимів роботи об'єкта, багатоваріантний аналіз та інші операції.

4. Числове моделювання двох складових натягу ниток основи систем “навій–нитки основи–відтяжний вал” та “СДННО–нитки основи” показало можливість використання ППП ПРАНС-ПК для автоматизації схмотехнічного проектування стабілізаторів натягу ниток основи в'язальних машин.

5. Нелінійні залежності, що характеризують систему натягу ниток основи описані та занесені до бібліотеки ППП ПРАНС-ПК за номерами F504 та F505.

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ СННО

Аналіз конструкцій пасивних СННО як стабілізаторів середнього та динамічного натягу ниток основи, показав, що в основі їх конструкцій використано пружний елемент, на кінці якого закріплено скало. Практика експлуатації ВМ і результати експериментально-теоретичних досліджень [4, 12, 19, 114] показали, що найбільш оптимальним варіантом використання пружного елемента є пружні пластини, спосіб кріплення яких дозволяє формувати одно- або двомасові системи [246, 253]. Різниця між пасивними СДННО та ССННО лежить в основному не в структурі їх динамічної системи, а в параметрах – значенні приведених мас, жорсткості пружних елементів, коефіцієнті згасання та іншому, що дає можливість створення універсальної математичної моделі пасивних СННО з метою проведення досліджень як існуючих, так і перспективних конструкцій з однією та двома степенями вільності.

4.1. Математична модель пасивних СННО

На основі аналізу конструкційних особливостей пасивних СННО і відомих математичних моделей, на початку визначено вимоги до математичної моделі, що розробляється:

- можливість аналітичних досліджень пасивних СННО, що представляють собою як одно-, так і двомасові динамічні системи;
- зручна форма завдання початкових даних, зокрема функція збурення задається у табличній формі;
- реалізація обрахунку на ПК.

Як правило, в конструкціях двомасових пасивних СННО є можливість виділити високо- і низькочастотну складові та зв'язані

з ними параметри, що бажано відобразити в математичній моделі [264, 321]. На основі згаданого, розроблена розрахункова схема пасивного СННО в пружній системі заправки ВМ (рис. 4.1), де:

m_1, m_2 – приведені маси високо- і низькочастотної складових СННО;

c_1, c_2 – приведені жорсткості високо- і низькочастотної складових СННО;

k_1, k_2 – коефіцієнти в'язкого тертя, що характеризують процеси демпфування у високо- і низькочастотній складових СННО;

c_1 – приведена до скала СННО жорсткість ниток основи;

x_1, x_2 – переміщення приведених мас високо- і низькочастотної складових СННО;

x_B – переміщення кінця нитки основи, викликане технологічними та іншими процесами.

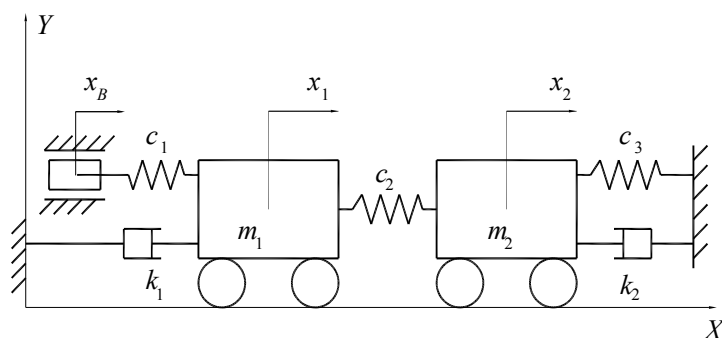


Рис. 4.1. Розрахункова схема пасивного СННО

Прийнято наступні припущення:

- нитки основи сприймають тільки пружні деформації;
- маса ниток основи не впливає на їх деформацію;
- нитки основи однорідні та ідеально гнучкі.

У запропонованій пружній системі заправки, натяг ниток основи визначається як добуток жорсткості ниток основи на різницю величин переміщення кінця ниток основи x_B і приведеної маси високочастотної складової x_1 (переміщення скала).

За розрахунковою схемою, на масу m_1 діють сили:

- жорсткості ниток основи:

$$F_1 = c_1(x_b - x_1); \quad (4.1)$$

– жорсткості пружного елемента високочастотної складової СННО:

$$F_2 = -c_2(x_1 - x_2); \quad (4.2)$$

– в'язкого тертя високочастотної складової СННО:

$$F_{D_1} = -k_1\dot{x}_1, \quad (4.3)$$

де \dot{x}_1 – швидкість переміщення маси m_1 .

За другим законом Ньютона запишемо [322]:

$$m_1\ddot{x}_1 = F_1 + F_2 + F_{D_1} = c_1(x_b - x_1) - c_2(x_1 - x_2) - k_1\dot{x}_1 \quad (4.4)$$

або

$$m_1\ddot{x}_1 + k_1\dot{x}_1 + x_1(c_1 + c_2) = c_2x_2 + c_1x_b, \quad (4.5)$$

де $\ddot{x}_1 = d^2x_1/dt^2$ – прискорення маси m_1 .

На масу m_2 діють сили:

– жорсткості пружного елемента високочастотної складової СННО:

$$F_2 = c_2(x_1 - x_2); \quad (4.6)$$

– жорсткості пружного елемента низькочастотної складової СННО:

$$F_3 = -c_3x_2; \quad (4.7)$$

– в'язкого тертя низькочастотної складової СННО:

$$F_{D_2} = -k_2\dot{x}_2; \quad (4.8)$$

За другим законом Ньютона запишемо [322]:

$$m_2\ddot{x}_2 = F_2 + F_3 + F_{D_2} = c_2x_1 - (c_2 + c_3)x_2 - k_2\dot{x}_2 \quad (4.9)$$

або

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2\dot{x}_2 + (c_2 + c_3)x_2 = c_2x_1, \quad (4.10)$$

де \ddot{x}_2 – прискорення маси m_2 .

Об'єднавши рівняння (4.4) і (4.10), отримаємо систему двох диференційних рівнянь другого порядку зі сталими коефіцієнтами:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + k_1\dot{x}_1 + x_1(c_1 + c_2) = c_2x_2 + c_1x_b; \\ m_2\ddot{x}_2 + k_2\dot{x}_2 + x_2(c_2 + c_3) = c_2x_1. \end{cases} \quad (4.11)$$

На початку розв'язання системи рівнянь (4.11), задамося початковими умовами:

$$x_1(0) = x_{10}, \quad \dot{x}_1(0) = \dot{x}_{10}, \quad (4.12)$$

$$x_2(0) = x_{20}, \quad \dot{x}_2(0) = \dot{x}_{20}, \quad (4.13)$$

і в аналітичному вигляді представимо закон переміщення кінця нитки основи x_B , використавши для цього табличні дані:

$$(x_b)_j = x_b(t_j), \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (4.14)$$

З'єднавши точки, задані у табличному вигляді, отримаємо графічну залежність $(x_b)_j = x_b(t_j)$ у вигляді ламаної (рис. 4.2).

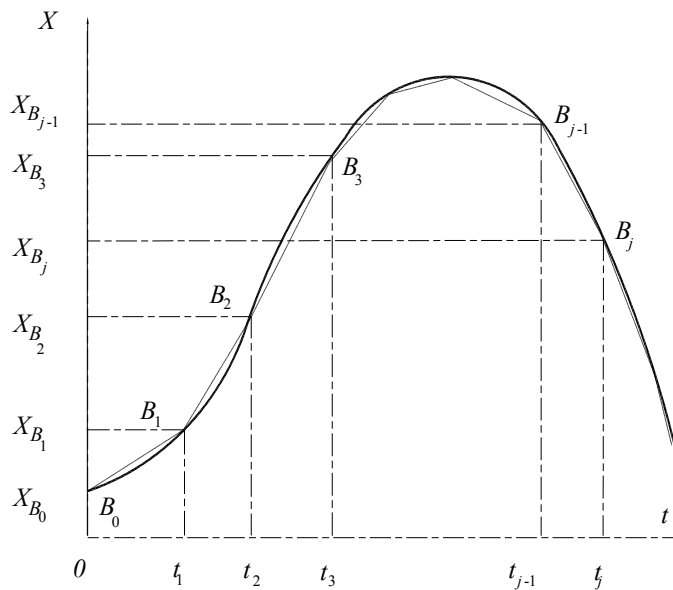


Рис. 4.2. Графічне зображення функції збурення

Приймаючи на кожному інтервалі часу (t_{j-1}, t_j) відрізок графіка функції як пряму лінію, що проходить через точки з координатами $(t_j, x_b(t_j))$, $(t_{j-1}, x_b(t_{j-1}))$ отримаємо:

$$x_b = \frac{1}{n}(a_j t + b_j), \quad (4.15)$$

$$\text{де } a_j = \frac{x_b(t_j) - x_b(t_{j-1})}{t_j - t_{j-1}} n, \quad n = \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2},$$

$$b_j = \frac{t_j x_b(t_{j-1}) - t_{j-1} x_b(t_j)}{t_j - t_{j-1}}, \quad j = 1, 2, \dots$$

Розв'язуючи систему диференціальних рівнянь (4.11) при початкових умовах (4.12) та (4.13), отримаємо:

$$x_1 = \frac{m_2}{c_2} \ddot{x}_2 + \frac{k_2}{c_2} \dot{x}_2 + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) x_2. \quad (4.16)$$

Диференціюючи двічі вираз (4.16) за часом t і підставляючи результати в перше рівняння системи (4.11), отримуємо диференціальне рівняння відносно x_2 :

$$x_2^{(IV)} + p\ddot{x}_2 + q\dot{x}_2 + h\dot{x}_2 + sx_2 = a_j t + b_j, \quad (4.17)$$

$$\text{де } p = \frac{k_1}{m_1} + \frac{k_2}{m_2}, \quad q = \frac{c_1 + c_2}{m_1} + \frac{c_2 + c_3}{m_2} + \frac{k_1 k_2}{m_1 m_2},$$

$$h = \frac{k_1(c_2 + c_3) + k_1(c_1 + c_2)}{m_1 m_2}, \quad s = \frac{c_1 c_2 + c_1 c_3 + c_2 c_3}{m_1 m_2}.$$

Оскільки вираз (4.17) – лінійне диференціальне рівняння четвертого порядку з постійними коефіцієнтами та з правою частиною у вигляді полінома першого порядку, то його розв'язок можна представити у вигляді [324]:

$$x_2 = x_{od} + x_r, \quad (4.18)$$

де x_r – частинний розв'язок рівняння (4.17);

x_{od} – загальний розв'язок відповідного однорідного рівняння:

$$x_{od}^{(IV)} + p\ddot{x}_{od} + q\dot{x}_{od} + h\dot{x}_{od} + sx_{od} = 0 \quad (4.19)$$

Загальний розв'язок однорідного рівняння (4.19) шукаємо у вигляді $x_{od} = e^{rt}$. Підставивши цей вираз у рівняння (4.19), отримуємо характеристичне рівняння:

$$r^4 + pr^3 + qr^2 + hr + s = 0. \quad (4.20)$$

Для знаходження коренів рівняння (4.20) використано розв'язок рівняння Феррарі [324]:

$$\begin{aligned}
 r_1 = r_2 &= \frac{1}{4} \left(\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} - p \right), \text{ при } D_1 = 0, \\
 r_{1,2} &= \frac{1}{4} \left(\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} - p \pm \sqrt{D_1} \right), \text{ при } D_1 > 0, \\
 \alpha_1 \pm i\beta_1 &= \frac{1}{4} \left(\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} - p \pm i\sqrt{-D_1} \right), \text{ при } D_1 < 0, \\
 r_3 = r_4 &= -\frac{1}{4} \left(p + \sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} \right), \text{ при } D_2 = 0 \quad (4.21) \\
 r_{3,4} &= -\frac{1}{4} \left(p + \sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} \pm \sqrt{D_2} \right), \text{ при } D_2 > 0, \\
 r_{3,4} = \alpha_2 \pm i\beta_2 &= -\frac{1}{4} \left(p + \sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)} \pm i\sqrt{-D_2} \right), \text{ при } D_2 < 0,
 \end{aligned}$$

де $D_1 = 2p^2 - 4(z_1 + q) + 8\sqrt{z_1^2 - 4s} - 2p\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)}$, при $pz_1 > 2h$,

$$D_1 = 2p^2 - 4(z_1 + q) - 8\sqrt{z_1^2 - 4s} - 2p\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)}, \text{ при } pz_1 < 2h,$$

$$D_2 = 2p^2 - 4(z_1 + q) - 8\sqrt{z_1^2 - 4s} + 2p\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)}, \text{ при } pz_1 > 2h,$$

$$D_2 = 2p^2 - 4(z_1 + q) + 8\sqrt{z_1^2 - 4s} + 2p\sqrt{p^2 + 4(z_1 - q)}, \text{ при } pz_1 < 2h,$$

$$z_1 = \frac{q}{3} + \sqrt[3]{-\frac{q_0}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q_0}{2} - \sqrt{Q}}, \text{ при } Q > 0,$$

$$z_1 = \frac{q}{3} + 2\sqrt{-\frac{p_0}{3}} \cos \frac{\alpha}{3}, \text{ при } Q < 0,$$

$$Q = \left(\frac{p_0}{3} \right)^3 + \left(\frac{q_0}{3} \right)^2, \quad \alpha = \arccos \left(-\frac{q_0}{2\sqrt{-\left(\frac{p_0}{3}\right)^3}} \right),$$

$$p_0 = ph - \frac{q^2}{3} - 4s, \quad q_0 = \frac{1}{3}qph - \frac{2}{27}q^3 + \frac{8}{3}qs - p^2s - h^2.$$

Випадок, коли $D_1 = 0$ або $D_2 = 0$ для задачі, що розглядається практично неможливий. Але можливий випадок, коли $D_1 = D_2 = 0$. Таке станеться, коли відсутні обидва демпферних прист-

рої $k_1 = k_2 = 0$. У цьому випадку $p = h = 0$ і характеристичне рівняння (4.20) стає бікватратним:

$$r^4 + qr^2 + s = 0, \quad (k_1 = k_2 = 0). \quad (4.22)$$

Його розв'язок має вигляд:

$$r_{1,2} = \pm i\sqrt{q + \sqrt{q^2 - 4s}} = \pm i\beta_3; \quad (4.23)$$

$$r_{3,4} = \pm i\sqrt{q - \sqrt{q^2 - 4s}} = \pm i\beta_4. \quad (4.24)$$

Залежно від співвідношення параметрів системи, що розглядається, розв'язок однорідного рівняння (4.19) записують у вигляді:

$$\begin{aligned} x_{od} &= A_j \cos \beta_3 t + B_j \sin \beta_3 t + R_j \cos \beta_4 t + E_j \sin \beta_4 t, \quad (k_1 = k_2 = 0); \\ x_{od} &= A_j e^{\lambda_1 t} + B_j e^{\lambda_2 t} + R_j e^{\lambda_3 t} + E_j e^{\lambda_4 t}, \quad (D_1 > 0; D_2 > 0); \\ x_{od} &= A_j e^{\lambda_1 t} + B_j e^{\lambda_2 t} + R_j e^{\lambda_3 t} \cos \beta_2 t + E_j e^{\lambda_4 t} \sin \beta_2 t, \quad (D_1 > 0; D_2 < 0); \\ x_{od} &= e^{\alpha_1 t} (A_j \cos \beta_1 t + B_j \sin \beta_1 t) + R_j e^{\lambda_3 t} + E_j e^{\lambda_4 t}, \quad (D_1 < 0; D_2 > 0); \\ x_{od} &= e^{\alpha_1 t} (A_j \cos \beta_1 t + B_j \sin \beta_1 t) + e^{\alpha_2 t} (R_j \cos \beta_2 t + E_j \sin \beta_2 t), \\ &\quad (D_1 < 0; D_2 < 0), \end{aligned} \quad (4.25)$$

де A_j, B_j, R_j, E_j ($j = 1, 2, \dots$) – невідомі постійні, які на кожному інтервалі часу (t_{j-1}, t_j) визначаються з початкових умов цього інтервалу.

Оскільки права частина диференційного рівняння (4.17) представляє собою поліном першого степеня, а число нуль не є коренем характеристичного рівняння (4.20), то частинний розв'язок знаходиться у вигляді [324]:

$$x_r = L_1 t + L_2. \quad (4.26)$$

Підставляючи цей розв'язок у диференційне рівняння (4.17) знаходимо:

$$L_1 = \frac{a_j}{s}, \quad L_2 = \frac{b_j}{s} - h \frac{a_j}{s^2}. \quad (4.27)$$

Тоді

$$x_r = \frac{a_j}{s} t + \frac{b_j}{s} - h \frac{a_j}{s^2}. \quad (4.28)$$

Підставляючи вирази (4.25) і (4.28) у формулу (4.18), знайдено розв'язок диференційного рівняння (4.17):

$$\begin{aligned}
 x_2 &= A_j \cos \beta_3 t + B_j \sin \beta_3 t + R_j \cos \beta_4 t + \\
 &\quad + E_j \sin \beta_4 t + (a_j t + b_j - ha_j/s)/s, (k_1 = k_2 = 0), \\
 x_2 &= A_j e^{\eta t} + B_j e^{r_2 t} + R_j e^{r_3 t} + E_j e^{r_4 t} + \\
 &\quad + (a_j t + b_j - ha_j/s)/s, (D_1 > 0; D_2 > 0), \\
 x_2 &= A_j e^{\eta t} + B_j e^{r_2 t} + e^{\alpha_2 t} (R_j \cos \beta_2 t + E_j \sin \beta_2 t) + \\
 &\quad + (a_j t + b_j - ha_j/s)/s, (D_1 > 0; D_2 < 0), \quad (4.29) \\
 x_2 &= e^{\alpha_1 t} (A_j \cos \beta_1 t + B_j \sin \beta_1 t) + R_j e^{r_3 t} + E_j e^{r_4 t} + \\
 &\quad + (a_j t + b_j - ha_j/s)/s, (D_1 < 0; D_2 > 0), \\
 x_2 &= e^{\alpha_1 t} (A_j \cos \beta_1 t + B_j \sin \beta_1 t) + e^{\alpha_2 t} (R_j \cos \beta_2 t + \\
 &\quad + E_j \sin \beta_2 t) + (a_j t + b_j - ha_j/s)/s, (D_1 < 0; D_2 < 0).
 \end{aligned}$$

Диференціюючи двічі за часом формули (4.29) і, підставляючи отримані рівняння у (4.16), знайдено закон руху першої маси:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= A_j \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) e^{\eta t} + B_j \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) \times \\
 &\times e^{r_2 t} + e^{\alpha_2 t} \cos \beta_2 t \left(R_j + \frac{c_3}{c_2} R_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 R_j + \frac{k_2}{c_2} \beta_2 E_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 R_j + \right. \\
 &\left. + 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 E_j - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 R_j \right) + e^{\alpha_2 t} \sin \beta_2 t \left(E_j + \frac{c_3}{c_2} E_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 E_j - \right. \\
 &\left. - \frac{k_2}{c_2} \beta_2 R_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 E_j - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 E_j - 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 R_j \right) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \times \\
 &\quad \times \left(a_j t + b_j - h \frac{a_j}{s} \right) \times \frac{1}{s} + \frac{k_2 a_j}{c_2 s}, (D_1 > 0; D_2 < 0);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 = & e^{\alpha_1 t} \cos \beta_1 t \left(A_j + \frac{c_3}{c_2} A_j + \frac{k_2}{c_2} A_j \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \beta_1 B_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 A_j - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 A_j + \right. \\
 & \left. + 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 B_j \right) + e^{\alpha_1 t} \sin \beta_1 t \left(B_j + \frac{c_3}{c_2} B_j + \frac{k_2}{c_2} B_j \alpha_1 - \frac{k_2}{c_2} \beta_1 A_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 B_j - \right. \\
 & \left. - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 B_j - 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 A_j \right) + R_j \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2 \right) e^{\beta_3 t} + E_j \times \\
 & \times \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right) e^{r_4 t} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \left(a_j t + b_j - h \frac{a_j}{s} \right) \frac{1}{s} + \frac{k_2 a_j}{c_2 s}, \\
 & D_1 < 0; D_2 > 0; \\
 x_1 = & e^{\alpha_1 t} \cos \beta_1 t \left(A_j + \frac{c_3}{c_2} A_j + \frac{k_2}{c_2} A_j \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \beta_1 B_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 A_j - \right. \quad (4.30) \\
 & \left. - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 A_j + 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 B_j \right) + e^{\alpha_1 t} \sin \beta_1 t \left(B_j + \frac{c_3}{c_2} B_j + \frac{k_2}{c_2} B_j \alpha_1 - \right. \\
 & \left. - \frac{k_2}{c_2} \beta_1 A_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 B_j - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 B_j - 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 A_j \right) + e^{\alpha_2 t} \cos \beta_2 t \times \\
 & \times \left(R_j + \frac{c_3}{c_2} R_j + \frac{k_2}{c_2} R_j \alpha_2 + \frac{k_2}{c_2} \beta_2 E_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 R_j + 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 E_j - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 R_j \right) + \\
 & + e^{\alpha_2 t} \sin \beta_2 t \left(E_j + \frac{c_3}{c_2} E_j + \frac{k_2}{c_2} E_j \alpha_2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_2 R_j + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 E_j - 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 R_j - \right. \\
 & \left. - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 E_j \right) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \cdot \left(a_j t + b_j - h \frac{a_j}{s} \right) \frac{1}{s} + \frac{k_2 a_j}{c_2 s}, \quad D_1 < 0; D_2 < 0.
 \end{aligned}$$

За виразами (4.29) і (4.30) визначається переміщення обох мас. У цих формулах невідомими є постійні величини A_j , B_j , R_j , E_j ($j = 1, 2, 3, \dots$). Очевидно, що ці сталі будуть різними для кожного інтервалу часу (t_{j-1} , t_j). Визначаємо їх спочатку на інтервалі $(0, t_1)$, тобто при $j = 1$. Для цього знаходимо похідні \dot{x}_1 , \dot{x}_2 і підставляємо їх разом з x_1 , x_2 в початкові умови (4.12), (4.13). В результаті отримано систему чотирьох лінійних рівнянь відносно A_1 , B_1 , R_1 , E_1 . Розв'язуючи цю систему знайдено:

$$A_1 = \frac{d_{15}}{d_{11}} - \frac{1}{\Delta d_{11}} (d_{12}\Delta_B + d_{13}\Delta_R + d_{14}\Delta_E); \quad (4.31)$$

$$B_1 = \frac{\Delta_B}{\Delta}; E_1 = \frac{\Delta_E}{\Delta}; R_1 = \frac{\Delta_R}{\Delta},$$

де

$$\Delta = \begin{vmatrix} d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21}; d_{11}d_{23} - d_{13}d_{21}; d_{11}d_{24} - d_{14}d_{21} \\ d_{11}d_{32} - d_{12}d_{31}; d_{11}d_{33} - d_{13}d_{31}; d_{11}d_{34} - d_{14}d_{31} \\ d_{11}d_{42} - d_{12}d_{41}; d_{11}d_{43} - d_{13}d_{41}; d_{11}d_{44} - d_{14}d_{41} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_B = \begin{vmatrix} d_{11}d_{25} - d_{15}d_{21}; d_{11}d_{23} - d_{13}d_{21}; d_{11}d_{24} - d_{14}d_{21} \\ d_{11}d_{35} - d_{15}d_{31}; d_{11}d_{33} - d_{13}d_{31}; d_{11}d_{34} - d_{14}d_{31} \\ d_{11}d_{45} - d_{15}d_{41}; d_{11}d_{43} - d_{13}d_{41}; d_{11}d_{44} - d_{14}d_{41} \end{vmatrix}, \quad (4.32)$$

$$\Delta_R = \begin{vmatrix} d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21}; d_{11}d_{25} - d_{15}d_{21}; d_{11}d_{24} - d_{14}d_{21} \\ d_{11}d_{32} - d_{12}d_{31}; d_{11}d_{35} - d_{15}d_{31}; d_{11}d_{34} - d_{14}d_{31} \\ d_{11}d_{42} - d_{12}d_{41}; d_{11}d_{45} - d_{15}d_{41}; d_{11}d_{44} - d_{14}d_{41} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_E = \begin{vmatrix} d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21}; d_{11}d_{23} - d_{13}d_{21}; d_{11}d_{25} - d_{15}d_{21} \\ d_{11}d_{32} - d_{12}d_{31}; d_{11}d_{33} - d_{13}d_{31}; d_{11}d_{35} - d_{15}d_{31} \\ d_{11}d_{42} - d_{12}d_{41}; d_{11}d_{43} - d_{13}d_{41}; d_{11}d_{45} - d_{15}d_{41} \end{vmatrix}.$$

Коефіцієнти d_{nm} ($n = 1, \dots, 5$), які фігурують в детермінантах, визначаються різними виразами залежно від співвідношення параметрів системи. Розглянемо кожний випадок окремо:

а) коли $k_1 = k_2 = 0$:

$$d_{11} = 1; d_{12} = 0; d_{13} = 1; d_{14} = 0; d_{15} = x_{20} - \frac{b_1}{s} + h \frac{a_1}{s^2};$$

$$d_{21} = 0; d_{22} = \beta_3; d_{23} = 0; d_{24} = \beta_4; d_{25} = \dot{x}_{20} - \frac{a_1}{s};$$

$$d_{31} = 1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2; d_{32} = \frac{k_2}{c_2} \beta_3; d_{33} = 1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2;$$

$$d_{34} = \frac{k_2}{c_2} \beta_4; d_{35} = x_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{b_1}{s} - h \frac{a_1}{s^2}\right) - \frac{k_2 a_1}{c_2 s};$$

$$d_{41} = -\frac{k_2}{c_2} \beta_3^2; d_{42} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2\right) \beta_3; d_{43} = -\frac{k_2}{c_2} \beta_4^2;$$

$$d_{44} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_4^2\right) \beta_4; d_{45} = \dot{x}_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \frac{a_1}{s};$$

б) коли $D_1 > 0; D_2 > 0$:

$$d_{11} = d_{12} = d_{13} = d_{14} = 1; d_{15} = x_{20} - \frac{b_1}{s} + \frac{a_1}{s^2} h;$$

$$d_{21} = r_1; d_{22} = r_2; d_{23} = r_3; d_{24} = r_4; d_{25} = \dot{x}_{20} - \frac{a_1}{s};$$

$$d_{31} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2; d_{32} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2;$$

$$d_{33} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2; d_{34} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2;$$

$$d_{35} = x_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{b_1}{s} - h \frac{a_1}{s^2}\right) - \frac{k_2 a_1}{c_2 s}; \quad (4.33)$$

$$d_{41} = r_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2\right);$$

$$d_{42} = r_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2\right);$$

$$d_{43} = r_3 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2\right);$$

$$d_{44} = r_4 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2\right); d_{45} = \dot{x}_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \frac{a_1}{s};$$

в) коли $D_1 > 0; D_2 < 0$:

$$d_{11} = d_{12} = d_{13} = 1; d_{41} = 0; d_{15} = x_{20} - \frac{b_1}{s} + \frac{a_1}{s^2} h;$$

$$d_{21} = r_1; d_{22} = r_2; d_{23} = \alpha_2; d_{24} = \beta_2; d_{25} = \dot{x}_{20} - \frac{a_1}{s};$$

$$d_{31} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2; d_{32} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2;$$

$$d_{33} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2; d_{34} = \beta_2 \left(\frac{k_2}{c_2} + 2 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2\right);$$

$$d_{35} = x_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{b_1}{s} - h \frac{a_1}{s^2}\right) - \frac{k_2 a_1}{c_2 s};$$

$$d_{41} = r_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2\right); d_{42} = r_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2\right);$$

$$d_{43} = \alpha_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2\right) - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2;$$

$$d_{44} = \beta_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2\right);$$

$$d_{45} = \dot{x}_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \frac{a_1}{s};$$

г) коли $D_1 < 0$; $D_2 > 0$:

$$d_{11} = 1; d_{12} = 0; d_{13} = 1; d_{14} = 1; d_{15} = x_{20} - \frac{b_1}{s} + h \frac{a_1}{s^2};$$

$$d_{21} = \alpha_1; d_{22} = \beta_1; d_{23} = r_3; d_{24} = r_4; d_{25} = \dot{x}_{20} - \frac{a_1}{s};$$

$$d_{31} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2;$$

$$d_{32} = (k_2 + 2m_2 \alpha_1) \frac{\beta_1}{s^2}; d_{33} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2;$$

$$d_{34} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2;$$

$$d_{35} = x_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{b_1}{s} - h \frac{a_1}{s^2}\right) - \frac{k_2 a_1}{c_2 s};$$

$$d_{41} = \alpha_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2;$$

$$d_{42} = \frac{\beta_1}{c_2} (1 + c_3 + 2k_2 \alpha_1 + 3m_2 \alpha_1^2 - m_2 \beta_1^2);$$

$$d_{43} = r_3 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2\right);$$

$$d_{44} = r_4 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right); \quad d_{45} = \dot{x}_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_1}{s};$$

д) коли $D_1 < 0$; $D_2 < 0$:

$$d_{11} = 1; d_{12} = 0; d_{13} = 1; d_{14} = 0; d_{15} = x_{20} - \frac{b_1}{s} + h \frac{a_1}{s^2};$$

$$d_{21} = \alpha_1; d_{22} = \beta_1; d_{23} = \alpha_2; d_{24} = \beta_2; d_{25} = \dot{x}_{20} - \frac{a_1}{s};$$

$$d_{31} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2; \quad d_{32} = (k_2 + 2m_2 \alpha_1) \frac{\beta_1}{c_2};$$

$$d_{33} = 1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2; \quad d_{34} = (k_2 + 2m_2 \alpha_2) \frac{\beta_2}{c_2};$$

$$d_{35} = x_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \left(\frac{b_1}{s} - h \frac{a_1}{s^2} \right) - \frac{k_2 a_1}{c_2 s};$$

$$d_{41} = \alpha_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 \right) - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2;$$

$$d_{42} = \beta_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 \right);$$

$$d_{43} = \alpha_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 \right) - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2;$$

$$d_{44} = \beta_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 \right);$$

$$d_{45} = \dot{x}_{10} - \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_1}{s}.$$

Після знаходження за формулами (4.31) коефіцієнтів A_1, B_1, R_1, E_1 для визначення переміщень x_1, x_2 мас на інтервалі часу $(0, t_1)$ знаходимо значення $x_1(t_1), x_2(t_1), \dot{x}_1(t_1), \dot{x}_2(t_1)$ в кінці інтервалу при $t = t_1$. Отримані значення використовуються як початкові умови для інтервалу часу (t_1, t_2) тобто значення переміщень і швидкостей мас в кінці інтервалу часу $(0, t_1)$ будуть дорівнювати відповідним значенням переміщень і швидкостей на початку інтервалу (t_1, t_2) . З таких умов отримуємо систему чотирьох лінійних рівнянь відносно

A_2, B_2, R_2, E_2 . Розв'язуючи таку систему знайдено коефіцієнти A_2, B_2, R_2, E_2 через коефіцієнти A_1, B_1, R_1, E_1 . Наступні операції аналогічні. При відомих A_2, B_2, R_2, E_2 знаходимо значення $x_1(t_2), x_2(t_2), \dot{x}_1(t_2), \dot{x}_2(t_2)$, які будуть початковими умовами для інтервалу часу (t_2, t_3) . З цих умов, розв'язуючи систему чотирьох лінійних рівнянь, визначаємо A_3, B_3, R_3, E_3 через коефіцієнти A_2, B_2, R_2, E_2 . Переходячи таким чином від відрізка до відрізка, отримуємо рекурентні співвідношення для коефіцієнтів A_j, B_j, R_j, E_j ($j = 1, 2, \dots$). Ці співвідношення будуть мати вигляд:

$$A_{j+1} = \frac{d_{15j}}{d_{11j}} - \frac{1}{\Delta_j d_{11j}} (d_{12j} \Delta_{Bj} + d_{13j} \Delta_{Rj} + d_{14j} \Delta_{Ej});$$

$$B_{j+1} = \frac{\Delta_{Bj}}{\Delta_j}; \quad E_{j+1} = \frac{\Delta_{Ej}}{\Delta_j}; \quad R_{j+1} = \frac{\Delta_{Rj}}{\Delta_j}, \quad (4.34)$$

де

$$\Delta_j = \begin{vmatrix} d_{11j}d_{22j} - d_{12j}d_{21j}; d_{11j}d_{23j} - d_{13j}d_{21j}; d_{11j}d_{24j} - d_{14j}d_{21j} \\ d_{11j}d_{32j} - d_{12j}d_{31j}; d_{11j}d_{33j} - d_{13j}d_{31j}; d_{11j}d_{34j} - d_{14j}d_{31j} \\ d_{11j}d_{42j} - d_{12j}d_{41j}; d_{11j}d_{43j} - d_{13j}d_{41j}; d_{11j}d_{44j} - d_{14j}d_{41j} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{Bj} = \begin{vmatrix} d_{11j}d_{25j} - d_{15j}d_{21j}; d_{11j}d_{23j} - d_{13j}d_{21j}; d_{11j}d_{24j} - d_{14j}d_{21j} \\ d_{11j}d_{35j} - d_{15j}d_{31j}; d_{11j}d_{33j} - d_{13j}d_{31j}; d_{11j}d_{34j} - d_{14j}d_{31j} \\ d_{11j}d_{45j} - d_{15j}d_{41j}; d_{11j}d_{43j} - d_{13j}d_{41j}; d_{11j}d_{44j} - d_{14j}d_{41j} \end{vmatrix}, \quad (4.35)$$

$$\Delta_{Rj} = \begin{vmatrix} d_{11j}d_{22j} - d_{12j}d_{21j}; d_{11j}d_{25j} - d_{15j}d_{21j}; d_{11j}d_{24j} - d_{14j}d_{21j} \\ d_{11j}d_{32j} - d_{12j}d_{31j}; d_{11j}d_{35j} - d_{15j}d_{31j}; d_{11j}d_{34j} - d_{14j}d_{31j} \\ d_{11j}d_{42j} - d_{12j}d_{41j}; d_{11j}d_{45j} - d_{15j}d_{41j}; d_{11j}d_{44j} - d_{14j}d_{41j} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{Ej} = \begin{vmatrix} d_{11j}d_{22j} - d_{12j}d_{21j}; d_{11j}d_{23j} - d_{13j}d_{21j}; d_{11j}d_{25j} - d_{15j}d_{21j} \\ d_{11j}d_{32j} - d_{12j}d_{31j}; d_{11j}d_{33j} - d_{13j}d_{31j}; d_{11j}d_{35j} - d_{15j}d_{31j} \\ d_{11j}d_{42j} - d_{12j}d_{41j}; d_{11j}d_{43j} - d_{13j}d_{41j}; d_{11j}d_{45j} - d_{15j}d_{41j} \end{vmatrix}.$$

Залежно від співвідношення параметрів коливальної системи коефіцієнти d_{mj} ($m = 1-4; n = 1-5; j = 1, 2, \dots$) визначаються за різними формулами. Для кожного випадку вони наступні:

$$\begin{aligned}
 & \text{а) коли } k_1 = k_2 = 0: \\
 & d_{11j} = \cos(\beta_3 t_j); d_{12j} = \sin(\beta_3 t_j); \\
 & d_{13j} = \cos(\beta_4 t_j); d_{14j} = \sin(\beta_4 t_j); \\
 & d_{15j} = A_j d_{11j} + B_j d_{12j} + R_j d_{13j} + E_j d_{14j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{t_j}{s} + \\
 & \quad + (b_j - b_{j+1}) \frac{1}{s} + \frac{h}{s^2} (a_{j+1} - a_j); \\
 & d_{21j} = -\beta_3 \sin(\beta_3 t_j); d_{22j} = \beta_3 \cos(\beta_3 t_j); \\
 & d_{23j} = -\beta_4 \sin(\beta_4 t_j); d_{24j} = \beta_4 \cos(\beta_4 t_j); \\
 & d_{25j} = A_j d_{21j} + B_j d_{22j} + R_j d_{23j} + E_j d_{24j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{1}{s}; \\
 & d_{31j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2\right) \cos(\beta_3 t_j) - \frac{k_2}{c_2} \beta_3 \sin(\beta_3 t_j); \\
 & d_{32j} = \frac{k_2}{c_2} \beta_3 \cos(\beta_3 t_j) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2\right) \sin(\beta_3 t_j); \\
 & d_{33j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_4^2\right) \cos(\beta_4 t_j) - \frac{k_2}{c_2} \beta_4 \sin(\beta_4 t_j); \\
 & d_{34j} = \frac{k_2}{c_2} \beta_4 \cos(\beta_4 t_j) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_4^2\right) \sin(\beta_4 t_j); \\
 & d_{35j} = A_j d_{31j} + B_j d_{32j} + R_j d_{33j} + E_j d_{34j} + \frac{k_2}{s c_2} (a_j - a_{j+1}) + \\
 & \quad + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} t_j + \frac{b_j - b_{j+1}}{s} + h \frac{a_{j+1} - a_j}{s^2}\right); \\
 & d_{41j} = \beta_3 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_3^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2}\right) \sin(\beta_3 t_j) - \frac{k_2}{c_2} \beta_3^2 \cos(\beta_3 t_j); \\
 & d_{42j} = -\frac{k_2}{c_2} \beta_3^2 \sin(\beta_3 t_j) + \beta_3 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_3^2\right) \cos(\beta_3 t_j); \\
 & d_{43j} = \beta_4 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_4^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2}\right) \sin(\beta_4 t_j) - \frac{k_2}{c_2} \beta_4^2 \cos(\beta_4 t_j);
 \end{aligned}$$

$$d_{44j} = -\frac{k_2}{c_2} \beta_4^2 \sin(\beta_4 t_j) + \beta_4 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} - \frac{m_2}{c_2} \beta_4^2 \right) \cos(\beta_4 t_j);$$

$$d_{45j} = A_j d_{41j} + B_j d_{42j} + R_j d_{43j} + E_j d_{44j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} \right);$$

б) випадок, коли $D_1 > 0; D_2 > 0$:

$$d_{11j} = e^{n t_j}; d_{12j} = e^{r_2 t_j}; d_{13j} = e^{r_3 t_j}; d_{14j} = e^{r_4 t_j};$$

$$d_{15j} = A_j d_{11j} + B_j d_{12j} + R_j d_{13j} + E_j d_{14j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{t_j}{s} + (b_j - b_{j+1}) \frac{1}{s} + \frac{h}{s^2} (a_{j+1} - a_j); d_{21j} = r_1 e^{n t_j}; d_{22j} = r_2 e^{r_2 t_j};$$

$$d_{23j} = r_3 e^{r_3 t_j}; d_{24j} = e^{r_4 t_j};$$

$$d_{25j} = A_j d_{21j} + B_j d_{22j} + R_j d_{23j} + E_j d_{24j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{1}{s};$$

$$d_{31j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) e^{n t_j};$$

$$d_{32j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) e^{r_2 t_j};$$

$$d_{33j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2 \right) e^{r_3 t_j};$$

$$d_{34j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right) e^{r_4 t_j};$$

$$d_{35j} = A_j d_{31j} + B_j d_{32j} + R_j d_{33j} + E_j d_{34j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} t_j + \frac{b_j - b_{j+1}}{s} + h \frac{a_{j+1} - a_j}{s^2} \right) + \frac{k_2}{c_2} \cdot \frac{a_j - a_{j+1}}{s};$$

$$d_{41j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) r_1 e^{n t_j}$$

$$d_{42j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) r_2 e^{r_2 t_j};$$

$$d_{43j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2 \right) r_3 e^{r_3 t_j};$$

$$d_{44j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right) r_4 e^{r_4 t_j};$$

$$d_{45j} = A_j d_{41j} + B_j d_{42j} + R_j d_{43j} + E_j d_{44j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} \right);$$

в) випадок, коли $D_1 > 0$; $D_2 < 0$:

$$d_{11j} = e^{n_1 t_j}; d_{12j} = e^{r_2 t_j};$$

$$d_{13j} = e^{r_3 t_j} \cos(\beta_2 t_j); d_{14j} = e^{r_4 t_j} \sin(\beta_2 t_j);$$

$$d_{15j} = A_j d_{11j} + B_j d_{12j} + R_j d_{13j} + E_j d_{14j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{t_j}{s} +$$

$$+ (b_j - b_{j+1}) \frac{1}{s} + \frac{h}{s^2} (a_{j+1} - a_j); d_{21j} = r_1 e^{n_1 t_j}; d_{22j} = r_2 e^{r_2 t_j};$$

$$d_{23j} = (\alpha_2 \cos(\beta_2 t_j) - \beta_2 \sin(\beta_2 t_j));$$

$$d_{24j} = (\beta_2 \cos(\beta_2 t_j) - \alpha_2 \sin(\beta_2 t_j)) e^{\alpha_2 t_j};$$

$$d_{25j} = A_j d_{21j} + B_j d_{22j} + R_j d_{23j} + E_j d_{24j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{1}{s};$$

$$d_{31j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) e^{n_1 t_j};$$

$$d_{32j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) e^{r_2 t_j};$$

$$d_{33j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j) -$$

$$- \frac{\beta_2}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_2) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j);$$

$$d_{34j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j) -$$

$$- \frac{\beta_2}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_2) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j);$$

$$\begin{aligned}
 d_{35j} &= A_j d_{31j} + B_j d_{32j} + R_j d_{33j} + E_j d_{34j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \times \\
 &\quad \times \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} t_j + \frac{b_j - b_{j+1}}{s} + h \frac{a_{j+1} - a_j}{s^2} \right) + \frac{k_2}{c_2} \times \frac{a_j - a_{j+1}}{s}; \\
 d_{41j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2\right) r_1 e^{\alpha_1 t_j}; \quad d_{42j} = \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \frac{m_2}{c_2} r_2^2\right) r_2 e^{\alpha_2 t_j}; \\
 d_{43j} &= \left(\alpha_2 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_2 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \times \\
 &\quad \times \cos(\beta_2 t_j) + \beta_2 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2} - 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j); \\
 d_{44j} &= \left(\alpha_2 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_2 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \times \\
 &\quad \times \sin(\beta_2 t_j) + \beta_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 \right) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j); \\
 d_{45j} &= A_j d_{41j} + B_j d_{42j} + R_j d_{43j} + E_j d_{44j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} \right);
 \end{aligned}$$

г) випадок, коли $D_1 < 0$; $D_2 > 0$:

$$\begin{aligned}
 d_{11j} &= e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); \quad d_{12j} = e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j); \quad d_{13j} = e^{\alpha_3 t_j}; \\
 d_{14j} &= e^{\alpha_4 t_j}; \quad d_{15j} = A_j d_{11j} + B_j d_{12j} + R_j d_{13j} + E_j d_{14j} + \\
 &\quad + (a_j - a_{j+1}) \frac{t_j}{s} + (b_j - b_{j+1}) \frac{1}{s} + \frac{h}{s^2} (a_{j+1} - a_j); \\
 d_{21j} &= (\alpha_1 \cos(\beta_1 t_j) - \beta_1 \sin(\beta_1 t_j)) e^{\alpha_1 t_j}; \\
 d_{22j} &= (\alpha_1 \sin(\beta_1 t_j) + \beta_1 \cos(\beta_1 t_j)) e^{\alpha_1 t_j}; \\
 d_{23j} &= r_3 e^{r_3 t_j}; \quad d_{24j} = r_4 e^{r_4 t_j}; \\
 d_{25j} &= A_j d_{21j} + B_j d_{22j} + R_j d_{23j} + E_j d_{24j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{1}{s};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{31j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j) - \\
 &\quad - \frac{\beta_1}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_1) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j); \\
 d_{32j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j) + \\
 &\quad + \frac{\beta_1}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_1) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); \\
 d_{33j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2\right) e^{r_3 t_j}; \\
 d_{34j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2\right) e^{r_4 t_j}; \\
 d_{35j} &= A_j d_{31j} + B_j d_{32j} + R_j d_{33j} + E_j d_{34j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \times \\
 &\quad \times \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} t_j + \frac{b_j - b_{j+1}}{s} + h \frac{a_{j+1} - a_j}{s^2}\right) + \frac{k_2}{c_2} \times \frac{a_j - a_{j+1}}{s}; \\
 d_{41j} &= \left(\alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \times \\
 &\quad \times \cos(\beta_1 t_j) + \beta_1 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2} - 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j); \\
 d_{42j} &= \left(\alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \times \\
 &\quad \times \sin(\beta_1 t_j) + \beta_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); \\
 d_{43j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2\right) r_3 e^{r_3 t_j}; \\
 d_{44j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \frac{m_2}{c_2} r_4^2\right) r_4 e^{r_4 t_j};
 \end{aligned}$$

$$d_{45j} = A_j d_{41j} + B_j d_{42j} + R_j d_{43j} + E_j d_{44j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s}\right);$$

д) випадок, коли $D_1 < 0$; $D_2 < 0$:

$$\begin{aligned} d_{11j} &= e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); d_{12j} = e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_2 t_j); \\ d_{13j} &= e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j); d_{14j} = e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j); \\ d_{15j} &= A_j d_{11j} + B_j d_{12j} + R_j d_{13j} + E_j d_{14j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{t_j}{s} + \\ &\quad + (b_j - b_{j+1}) \frac{1}{s} + \frac{h}{s^2} (a_{j+1} - a_j); \\ d_{21j} &= (\alpha_1 \cos(\beta_1 t_j) - \beta_1 \sin(\beta_1 t_j)) e^{\alpha_1 t_j}; \\ d_{22j} &= (\beta_1 \cos(\beta_1 t_j) + \alpha_1 \sin(\beta_1 t_j)) e^{\alpha_1 t_j}; \\ d_{23j} &= (\alpha_2 \cos(\beta_2 t_j) - \beta_2 \sin(\beta_2 t_j)) e^{\alpha_2 t_j}; \\ d_{24j} &= (\beta_2 \cos(\beta_2 t_j) + \alpha_2 \sin(\beta_2 t_j)) e^{\alpha_2 t_j}; \\ d_{25j} &= A_j d_{21j} + B_j d_{22j} + R_j d_{23j} + E_j d_{24j} + (a_j - a_{j+1}) \frac{1}{s}; \\ d_{31j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j) - \\ &\quad - \frac{\beta_1}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_1) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j); \\ d_{32j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j) + \\ &\quad + \frac{\beta_1}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_1) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); \\ d_{33j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j) - \\ &\quad - \frac{\beta_2}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_2) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j); \end{aligned} \tag{4.36}$$

$$\begin{aligned}
 d_{34j} &= \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j) + \\
 &\quad + \frac{\beta_2}{c_2} (k_2 + 2m_2 \alpha_2) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j); \\
 d_{35j} &= A_j d_{31j} + B_j d_{32j} + R_j d_{33j} + E_j d_{34j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \times \\
 &\quad \times \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s} t_j + \frac{b_j - b_{j+1}}{s} + h \frac{a_{j+1} - a_j}{s^2}\right) + \frac{k_2}{c_2} \times \frac{a_j - a_{j+1}}{s}; \\
 d_{41j} &= \left(\alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \times \\
 &\quad \times \cos(\beta_1 t_j) + \beta_1 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_1^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2} - 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \sin(\beta_1 t_j); \\
 d_{42j} &= \left(\alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \times \\
 &\quad \times \sin(\beta_1 t_j) + \beta_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_1^2\right) e^{\alpha_1 t_j} \cos(\beta_1 t_j); \\
 d_{43j} &= \left(\alpha_2 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_2 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \times \\
 &\quad \times \cos(\beta_2 t_j) + \beta_2 \left(\frac{m_2}{c_2} \beta_2^2 - 1 - \frac{c_3}{c_2} - 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \sin(\beta_2 t_j); \\
 d_{44j} &= \left(\alpha_2 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_2 + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2^2 - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \times \\
 &\quad \times \sin(\beta_2 t_j) + \beta_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^2\right) e^{\alpha_2 t_j} \cos(\beta_2 t_j); \\
 d_{45j} &= A_j d_{41j} + B_j d_{42j} + R_j d_{43j} + E_j d_{44j} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right) \left(\frac{a_j - a_{j+1}}{s}\right).
 \end{aligned}$$

Таким чином, визначено переміщення мас високо- і низько- частотної складових. Швидкості мас можна визначити з виразів (4.29) та (4.30), якщо продиференціювати їх за часом t . Швидкість маси високочастотної складової знаходиться з виразів:

$$\begin{aligned}
 v_1 = \frac{dx_1}{dt} = & \left(\frac{m_2}{c_2} A_j \beta_3^3 - A_j \beta_3 - \frac{c_3}{c_2} A_j \beta_3 - \frac{k_2}{c_2} B_j \beta_3^2 \right) \sin(\beta_3 t) + \\
 & + \beta_3 \left(\beta_j + \frac{c_3}{c_2} B_j - \frac{k_2}{c_2} A_j \beta_3^2 - \frac{m_2}{c_2} B_j \beta_3^2 \right) \cos(\beta_3 t) + \\
 & + \beta_4 \left(\frac{m_2}{c_2} R_j \beta_4^2 - R_j - \frac{c_3}{c_2} R_j - \frac{k_2}{c_2} E_j \beta_4 \right) \sin(\beta_4 t) + \quad (4.37) \\
 & + \beta_4 \left(E_j + \frac{c_3}{c_2} E_j - \frac{k_2}{c_2} R_j \beta_4 - \frac{m_2}{c_2} E_j \beta_4^2 \right) \cos(\beta_4 t) + \\
 & + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_j}{s}, \quad (k_1 = k_2 = 0);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_1 = \frac{dx_1}{dt} = & e^{\alpha_1 t} \cos(\beta_1 t) \left(A_j \alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 A_j + \frac{k_2}{c_2} A_j \alpha_1^2 + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 B_j + \right. \\
 & + \frac{m_2}{c_2} A_j \alpha_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 A_j + 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 \beta_1 B_j + \beta_1 B_j + \frac{c_3}{c_2} \beta_1 B_j - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2 A_j - \\
 & - \frac{m_2}{c_2} B_j \beta_1^3 \left. \right) + e^{\alpha_1 t} \sin(\beta_2 t) \left(-A_j \beta_1 - \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 A_j - 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 A_j - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2 B_j - \right. \\
 & - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 \beta_1 A_j + \frac{m_2}{c_2} A_j \beta_1^3 - 3 \frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 B_j + \alpha_1 B_j + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 B_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 B_j + \\
 & + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 B_j \left. \right) + R_j r_3 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2 \right) e^{r_3 t} + E_j r_4 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \right. \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right) e^{r_4 t} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_j}{s}, \quad D_1 < 0, D_2 > 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_1 = \frac{dx_1}{dt} = & A_j r_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) e^{r_1 t} + B_j r_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \right. \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) e^{r_2 t} + \left(\alpha_2 R_j + \alpha_2 \frac{c_3}{c_2} R_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 R_j + 2 \frac{k_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 E_j + \frac{m_2}{c_2} R_j \alpha_2^3 + \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2^2\beta_2E_j - 3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2\beta_2^2R_j + \beta_2E_j + \frac{c_3}{c_2}\beta_2E_j - \frac{k_2}{c_2}\beta_2^2R_j - \frac{m_2}{c_2}\beta_2^2R_j - \\
 & - \frac{m_2}{c_2}\beta_2^3E_j \Big) e^{\alpha_2t} \cos(\beta_2t) + \left(-\beta_2E_j - \frac{c_3}{c_2}\beta_2R_j - 2\frac{k_2}{c_2}\alpha_2\beta_2R_j - \frac{k_2}{c_2}\beta_2^2E_j - \right. \\
 & - 3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2^2\beta_2R_j - 3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2\beta_2^2E_j + \frac{m_2}{c_2}\beta_2^3R_j + E_j\alpha_2 + \frac{c_3}{c_2}\alpha_2E_j + \frac{k_2}{c_2}\alpha_2^2E_j + \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2}E_j\alpha_2^3 \right) e^{\alpha_2t} \sin(\beta_2t) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_j}{s}, D_1 > 0, D_2 < 0; \\
 v_1 = \frac{dx_1}{dt} = & A_j r_1 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_1 + \frac{m_2}{c_2} r_1^2 \right) e^{r_1 t} + B_j r_2 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_2 + \right. \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2} r_2^2 \right) e^{r_2 t} + R_j r_3 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_3 + \frac{m_2}{c_2} r_3^2 \right) e^{r_3 t} + E_j r_4 \left(1 + \frac{c_3}{c_2} + \frac{k_2}{c_2} r_4 + \right. \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2} r_4^2 \right) e^{r_4 t} + \left(1 + \frac{c_3}{c_2} \right) \frac{a_j}{s}, D_1 > 0, D_2 > 0; \\
 v_1 = \frac{dx_1}{dt} = & e^{\alpha_1 t} \cos(\beta_1 t) \left(A_j \alpha_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 A_j + \frac{k_2}{c_2} A_j \alpha_1^2 + 2\frac{k_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 B_j + \right. \\
 & + \frac{m_2}{c_2} A_j \alpha_1^3 - 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 A_j + 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 \beta_1 B_j + \beta_1 B_j + \frac{c_3}{c_2} \beta_1 B_j - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2 A_j - \\
 & \left. - \frac{m_2}{c_2} B_j \beta_1^3 \right) + e^{\alpha_1 t} \sin(\beta_1 t) \left(-A_j \beta_1 - \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 A_j - 2\frac{k_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1 A_j - \frac{k_2}{c_2} \beta_1^2 B_j - \right. \\
 & - 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_1^2 \beta_1 A_j + \frac{m_2}{c_2} A_j \beta_1^3 - 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_1 \beta_1^2 B_j + \alpha_1 B_j + \frac{c_3}{c_2} \alpha_1 B_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_1^2 B_j + \\
 & \left. + \frac{m_2}{c_2} \alpha_1^3 B_j \right) + e^{\alpha_2 t} \cos(\beta_2 t) \left(\alpha_2 R_j + \frac{c_3}{c_2} \alpha_2 R_j + \frac{k_2}{c_2} \alpha_2^2 R_j + 2\frac{k_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 E_j + \right. \\
 & + \frac{m_2}{c_2} \alpha_2^3 R_j + 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_2^2 \beta_2 E_j - 3\frac{m_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2^2 R_j + \beta_2 E_j + \frac{c_3}{c_2} \beta_2 E_j - \frac{k_2}{c_2} \beta_2^2 R_j - \\
 & \left. - \frac{m_2}{c_2} \beta_2^3 E_j \right) + e^{\alpha_2 t} \sin(\beta_2 t) \left(-R_j \beta_2 - \frac{c_3}{c_2} R_j \beta_2 - 2\frac{k_2}{c_2} \alpha_2 \beta_2 R_j - \frac{k_2}{c_2} E_j \beta_2^2 - \right.
 \end{aligned}$$

$$-3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2^2\beta_2R_j - 3\frac{m_2}{c_2}\alpha_2\beta_2^2E_j + \frac{m_2}{c_2}R_j\beta_2^3 + \alpha_2E_j + \frac{c_3}{c_2}\alpha_2E_j + \frac{k_2}{c_2}\alpha_2^2E_j + \frac{m_2}{c_2}E_j\alpha_2^3 \Big) + \left(1 + \frac{c_3}{c_2}\right)\frac{a_j}{s}, D_1 < 0, D_2 < 0.$$

Швидкість маси низькочастотної складової визначаємо з формул:

$$v_2 = \dot{x}_2 = -A_j\beta_3 \sin(\beta_3 t) + B_j\beta_3 \cos(\beta_3 t) - R_j\beta_4 \sin(\beta_4 t) + E_j\beta_4 \cos(\beta_4 t) + \frac{a_j}{s}, k_1 = k_2 = 0;$$

$$v_2 = \dot{x}_2 = A_j r_1 e^{\eta t} + B_j r_2 e^{\eta_2 t} + R_j r_3 e^{\eta_3 t} + E_j r_4 e^{\eta_4 t} + \frac{a_j}{s}, D_1 > 0, D_2 > 0;$$

$$v_2 = \dot{x}_2 = A_j r_1 e^{\eta t} + B_j r_2 e^{\eta_2 t} + (\alpha_2 R_j + \beta_2 E_j) e^{\alpha_2 t} \cos(\beta_2 t) + (\alpha_2 E_j + \beta_2 R_j) e^{\alpha_2 t} \sin(\beta_2 t) + \frac{a_j}{s}, (D_1 < 0, D_2 > 0); \quad (4.38)$$

$$v_2 = \dot{x}_2 = (A_j \alpha_1 + B_j \beta_1) e^{\alpha_1 t} \cos(\beta_1 t) + (B_j \alpha_1 + A_j \beta_1) e^{\alpha_1 t} \times \sin(\beta_1 t) + R_j r_3 e^{\eta_3 t} + E_j r_4 e^{\eta_4 t} + \frac{a_j}{s}, (D_1 > 0, D_2 < 0);$$

$$v_2 = \dot{x}_2 = (A_j \alpha_1 + B_j \beta_1) e^{\alpha_1 t} \cos(\beta_1 t) + (B_j \alpha_1 + A_j \beta_1) e^{\alpha_1 t} \times \sin(\beta_1 t) + (R_j \alpha_2 + E_j \beta_2) e^{\alpha_2 t} \times \cos(\beta_2 t) + (E_j \alpha_2 + R_j \beta_2) e^{\alpha_2 t} \sin(\beta_2 t) + \frac{a_j}{s}, (D_1 < 0, D_2 < 0).$$

Отримані аналітичні залежності описують переміщення приведених мас високочастотної та низькочастотної складових СННО.

4.2. Розробка програми обчислення основних параметрів пасивних СННО

Використовуючи отримані аналітичні залежності, розроблена програма обчислення основних параметрів СННО.

Особливістю програми є можливість оптимізації основних параметрів СННО методом перебору їх значень, при цьому, кри-

терієм оптимізації є мінімізація максимального розмаху коливань деформації ниток основи $|x_B - x_1|$.

Форма видачі результатів на монітор або принтер різна – в виді графічних залежностей, в виді таблиць або фіксованих значень основних параметрів пасивних СННО.

4.3. Дослідження ефективності роботи одномасових СННО

Розроблена математична модель і на її основі програма обчислень являються універсальними, оскільки дозволяють проводити дослідження одно- і двомасових СННО.

Для дослідження одномасових пасивних СННО в процесі обробувань достатньо прийняти жорсткість низькочастотної складової на декілька порядків більше жорсткості ниток основи в заправці і жорсткості високочастотної складової СННО. В цьому випадку показник ε' (2.43), що відображає реакцію пасивних СННО на збурення, не перевищує 0,5 %, що допустимо.

4.3.1. Стабілізація динамічного натягу ниток основи

Дослідження одно- і двомасових пасивних СННО проводились при існуючих 1200, 1800, 2400 петельних рядів за хвилину та перспективних – 3000 петельних рядів за хвилину швидкісних режимах роботи ОВМ та ВПМ. Аналіз раніше проведених досліджень показав, що найбільш суттєвий вплив на ефективність роботи одномасових пасивних СННО чинять приведена до скала маса рухомих елементів і коефіцієнт в'язкого тертя в системі “нитки основи–скало”, при цьому приведена до скала жорсткість підскальних пружин відповідає жорсткості ниток основи в заправці [19, 55, 173]. Виходячи з цього, вибрано границі значення приведеної до скала маси рухомих елементів високочастотної складової – 0,01; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1 кг, а також коефіцієнта в'язкого тертя в системі “нитки основи–скало”: 1; 5; 10; 20; 50 Н·с/м. Вибрані параметри відповідають значенням відомих зразків одномасових пасивних СННО і можливим у перспективі значенням.

Як функцію збурення взято раніше апробовану нелінійну складову функції вживання ниток основи при в'язанні переплетення “трико-сукно” на ОВМ моделі 5219 “Кокетт-2” [247]. Заправка – віс-

козна нитка лінійною щільністю 8,33 текс. Кількість ниток у заправці – 2500, жорсткість ниток – 60000 Н/м. Закон розгону ВМ відповідає раніше отриманому експериментальним шляхом [325].

На основі отриманих результатів (максимальні розмахи коливань деформації ниток основи) визначено ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи для різних швидкісних режимів роботи ВМ. Результати розрахунків наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи для одномасового СННО при різних швидкостях в'язання на хвилину, %

Коефіцієнт в'язкого тертя, Н·с/м	Приведена до скала маса рухомих елементів височастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,5	1
1200 петельних рядів					
1	35,59	40,59	-24,12	-233,24	Резонанс
5	40,18	34,12	19,71	-114,71	12,65
10	42,65	34,41	37,35	-67,06	21,47
20	55,59	35,59	27,06	-13,53	26,18
50	41,76	33,24	30,29	17,06	22,06
1800 петельних рядів					
1	37,94	34,12	-2,65	15,00	Резонанс
5	37,35	31,18	36,47	29,12	-122,35
10	37,06	29,71	47,94	33,24	-105,59
20	35,88	29,41	45,59	22,65	-100,29
50	32,06	28,53	37,94	9,41	-96,76
	Приведена до скала маса рухомих елементів височастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5
2400 петельних рядів					
1	56,76	30,88	27,06	-5,29	-628,23
5	38,82	33,53	35,29	23,82	-480,88
10	37,65	31,47	33,24	29,71	-376,18
20	35,29	30,29	30,37	22,06	-240,59
50	30,29	27,65	27,06	9,71	-107,94
3000 петельних рядів					
1	34,41	-20,59	-4,41	-722,65	Резонанс
5	33,82	34,12	36,47	-510,00	-74,12
10	34,12	30,29	40,59	-371,76	-49,71
20	33,53	30,88	36,47	-229,41	-30,88

50	28,53	25,88	33,24	-81,76	-22,35
----	-------	-------	-------	--------	--------

З отриманих результатів зроблені наступні висновки:

1) значення приведеної до скала маси рухомих елементів високочастотної складової СННО суттєво впливає на ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи. Так, з її зменшенням ступінь стабілізації збільшується, однак в межах $0,01 \text{ кг} < m_1 < 0,3 \text{ кг}$ при визначених значеннях коефіцієнта в'язкого тертя k_1 спостерігається явище, коли більшому значенню приведеної маси m_1 відповідає більше значення ступеня стабілізації;

2) найбільш високі значення ступеня стабілізації динамічного натягу спостерігаються при коефіцієнті в'язкого тертя k_1 в системі “нитки основи–скало” порядку $10 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$;

3) для забезпечення високоефективної стабілізації динамічного натягу ниток основи при швидкостях в'язання 1200 і 1800 петельних рядів на хвилину приведена маса m_1 не повинна перевищувати $0,3 \text{ кг}$, а при швидкостях в'язання більше 2400 рядів – $0,15 \text{ кг}$;

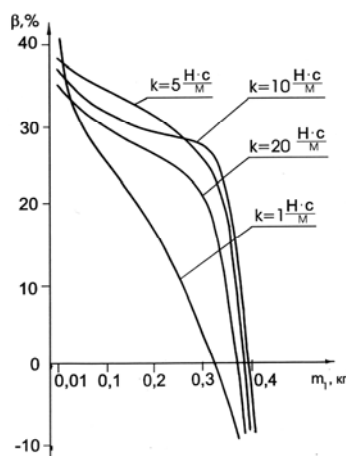


Рис. 4.3. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи β від приведеної маси m_1 високочастотної складової для фіксованих значень коефіцієнта в'язкого тертя k_1 в системі “нитки основи–скало” (швидкість в'язання – 2400 петельних рядів на хвилину)

4) зменшення приведеної до скала маси високочастотної складової СННО m_1 в границях $0,01 \text{ кг} < m_1 < 0,3 \text{ кг}$ при робочих швидкостях в'язання від 1800 до 2400 петельних рядів на хвилину

не дає значного збільшення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи, а інколи супроводжується зменшенням, що раніше було відмічено в роботі [19].

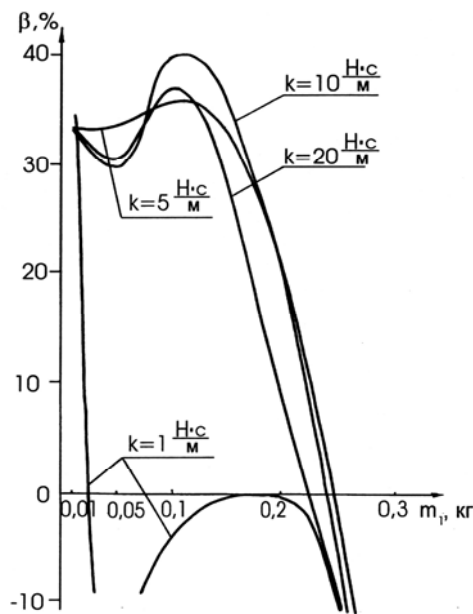


Рис. 4.4. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи β від приведеної маси m_1 високочастотної складової для фіксованих значень коефіцієнта в'язкого тертя k_1 в системі "нитки основи– скало" (швидкість в'язання – 3000 петельних рядів на хвилину)

Висновки 1, 3 та 4 підтверджуються приведеними графічними залежностями (рис. 4.3 та 4.4), представлених для швидкостей в'язання, відповідно, 2400 та 3000 петельних рядів на хвилину.

4.3.2. Стабілізація середнього натягу ниток основи

Одномасові пасивні СННО забезпечують стабілізацію як динамічного, так і середнього натягу ниток основи. Для оцінки ефективності стабілізації середнього натягу використано чотири визначених якісно-часових варіанта збурення (відхилень у подачі ос-

нови) з наступним визначенням ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи α (2.37), значення яких наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи для одномасового СННО, %

Варіант якісно-часових збурень	Приведена до скала маса рухомих елементів, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,5	1
Перший	51	51	51	51	51
Другий	51,2	51,2	51,2	51,2	51,2
Третій	55,8	55,8	55,8	55,8	55,8
Четвертий	55,8	55,8	55,8	55,8	55,8

З отриманих результатів видно, що одномасові пасивні СННО забезпечують тільки 50–55 % рівня ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи.

4.4. Дослідження ефективності роботи двомасового СННО

Особливістю двомасових пасивних СННО є наявність в їх конструкції двох складових – високо- і низькочастотної, при цьому високочастотна складова через скало безпосередньо контактує з нитками основи і стабілізує як динамічний натяг ниток основи, так і середній натяг, а низькочастотна складова – тільки середній.

Виходячи із сказаного та беручи до уваги принцип “суперпозиції”, на першому етапі досліджень двомасових пасивних СННО поставлена задача оцінки можливості досягнення “нечутливості” низькочастотної складової до коливань динамічного натягу ниток основи [102]. Досягнення такого стану дозволить запобігти резонансним і дестабілізаційним явищам у роботі низькочастотної складової. Досягти такого стану при визначеній жорсткості ниток основи в заправці (60000 Н/м), приведений до скала жорсткості високочастотної складової (60000 Н/м), приведений жорсткості низькочастотної складової (60000 Н/м) можна за рахунок вибору оптимального співвідношення приведеної маси низькочастотної складової m_2 і її коефіцієнта в'язкого тертя k_2 . Параметри високочастотної складової взяті з результатів досліджень одномасових пасивних СННО, які забезпечують 35–45 % рівень ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи і 50–55 % рівень ступеня стабі-

лізації середнього натягу ниток основи ($m_1 = 0,1$ кг; $k_1 = 10$ Н·с/м). Параметри заправки і функції збурення відповідають даним при дослідженні одномасових пасивних СННО.

У таблиці 4.3 наведені результати обчислень переміщення приведеної маси m_2 низькочастотної складової при швидкостях в'язання 1200 та 1800 петельних рядів на хвилину.

Таблиця 4.3

Коливання приведеної маси m_2 низькочастотної складової СННО при різних швидкостях в'язання (мм)

Коефіцієнт в'язкого тертя, Н·с/м	Приведена до скала маса рухомих елементів низькочастотної складової, кг				
	10	20	30	40	50
1200 петельних рядів					
10	5,25	2,70	0,52	1,60	2,50
20	4,70	2,50	0,49	1,68	2,36
50	3,22	1,58	0,45	1,43	2,18
100	1,86	1,30	0,43	1,27	1,75
200	1,25	0,75	0,36	0,92	1,18
1800 петельних рядів					
10	3,59	0,36	1,32	2,31	2,69
20	3,33	0,31	1,11	2,20	2,58
50	2,26	0,25	0,92	1,95	2,39
100	1,24	0,19	0,67	1,59	2,09
200	1,04	0,77	0,76	1,08	1,57

З отриманих результатів видно, що для досягнення відносної “нечутливості” низькочастотної складової до коливань динамічного натягу ниток основи значення приведеної маси m_2 повинні знаходитися в межах $20 \text{ кг} < m_2 < 30 \text{ кг}$, а значення коефіцієнта в'язкого тертя – в межах $50 \text{ Н·с/м} < k_2 < 100 \text{ Н·с/м}$. Використовуючи розроблену програму обчислень отримано наступні значення приведеної маси m_2 і коефіцієнта в'язкого тертя k_2 , які забезпечують мінімально можливе значення показника ε' (2.56) для різних швидкостей в'язання, а саме:

– 1200 петельних рядів на хвилину при $m_2 = 28$ кг,
 $k_2 = 50$ Н·с/м ($\varepsilon' = 8,53$ %);

– 1800 петельних рядів на хвилину при $m_2 = 21$ кг,
 $k_2 = 58$ Н·с/м ($\varepsilon' = 5,00$ %);

– 2400 петельних рядів на хвилину при $m_2 = 21$ кг,
 $k_2 = 58$ Н·с/м ($\varepsilon' = 1,76$ %);

– 3000 петельних рядів на хвилину при $m_2 = 21$ кг,
 $k_2 = 58$ Н·с/м ($\varepsilon' = 1,74$ %).

4.4.1. Стабілізація динамічного натягу ниток основи

Дослідження ефективності стабілізації динамічного натягу ниток основи двомасовим пасивним СННО виконані аналогічно дослідженням одномасового пасивного СННО з тією різницею, що замість параметрів низькочастотної складової, що забезпечує нерухомість приведеної маси m_2 використано параметри низькочастотної складової, що забезпечують її “нечутливість” тільки до коливань динамічного натягу ниток основи.

В якості прикладу представлено результати обчислень при наступних співвідношеннях параметрів:

– швидкість в’язання 1800 петельних рядів на хвилину;

– приведена до скала жорсткість високочастотної складової СННО $c_2 = 60000$ Н/м;

– приведена до скала жорсткість низькочастотної складової СННО $c_3 = 60000$ Н/м;

– приведена до скала маса високочастотної складової СННО $m_1 = 0,1$ кг;

– приведена до скала маса низькочастотної складової СННО

$m_2 = 21$ кг;

– коефіцієнт в’язкого тертя в системі “нитки основи–скало”

$k_1 = 10$ Н·с/м;

– коефіцієнт в’язкого тертя низькочастотної складової СННО

$k_2 = 58$ Н·с/м.

На основі отриманих результатів визначено ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи β (2.58) для різних швидкостей в’язання основов’язальної машини. Результати наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи
 для двомасового СННО при різних швидкостях в’язання (%)

Коефіцієнт в’язкого тертя, Н·с/м	Приведена до скала маса рухомих елементів високочастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,5	1
<i>I</i>	2	3	4	5	6
1200 петельних рядів					

Розділ 4. Аналітичні дослідження пасивних СННО

1	35,00	39,12	-20,00	-252,94	Резонанс
5	36,18	33,24	22,35	-143,53	11,8
10	36,19	33,53	33,24	-71,76	20,29
20	35,59	34,12	26,18	-16,76	25,29
50	33,24	32,35	29,71	15,88	22,94

Продовження таблиці 4.4

Коефіцієнт в'язкого тертя, Н·с/м	Приведена до скала маса рухомих елементів низькочастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,5	1
1800 петельних рядів					
1	37,06	33,53	-20,00	Резонанс	-179,41
5	36,76	31,12	36,76	33,82	-125,88
10	36,47	29,71	46,47	32,05	-102,94
20	35,29	29,41	46,18	23,53	Резонанс
50	31,76	28,82	37,35	11,18	Резонанс
	Приведена до скала маса рухомих елементів низькочастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,4	0,5
2400 петельних рядів					
1	56,47	27,06	2,94	Резонанс	Резонанс
5	38,53	35,00	27,94	-7,65	-442,94
10	37,06	32,94	29,12	-5,88	-352,94
20	35,00	30,00	22,06	-10,29	-228,18
50	23,53	27,06	10,29	-23,82	105,59
	Приведена до скала маса рухомих елементів низькочастотної складової СННО, кг				
	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3
3000 петельних рядів					
1	33,53	-20,88	-7,06	-0,29	-701,18
5	33,51	34,12	37,06	17,94	-499,12
10	33,51	30,59	40,29	17,92	-360,59
20	33,53	29,75	36,18	10,29	-225,29
50	28,53	26,18	27,35	-5,00	-81,18

На основі отриманих результатів зроблені наступні висновки:

1) дослідження одно- і двомасових пасивних СННО як стабілізаторів динамічного натягу ниток основи показали відсутність суттєвих переваг однієї принципової схеми відносно іншої;

2) значення приведеної до скала маси рухомих елементів високочастотної складової СННО суттєво впливає на ступінь ста-

білізації динамічного натягу ниток основи β . Так з її зменшенням ступінь стабілізації збільшується, однак в межах $0,01 \text{ кг} < m_1 < 0,3 \text{ кг}$ при визначених значеннях коефіцієнта в'язкого тертя спостерігається явище, коли більшому значенню приведеної маси m_1 відповідає більше значення ступеня стабілізації натягу ниток основи;

3) найбільш високі значення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи спостерігається при коефіцієнті в'язкого тертя в системі “нитки основи–скало” порядку $10 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$;

4) при швидкостях в'язання 1200 та 1800 петельних рядів на хвилину бажано, щоб приведена маса m_1 не перевищувала значення $0,3 \text{ кг}$, а при швидкостях в'язання 2400 та 3000 петельних рядів – $0,1 \text{ кг}$;

5) зменшення приведеної маси високочастотної складової СННО m_1 в діапазоні $0,01 \text{ кг} < m_1 < 0,3 \text{ кг}$ не дає значного збільшення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи, а інколи супроводжується її зменшенням.

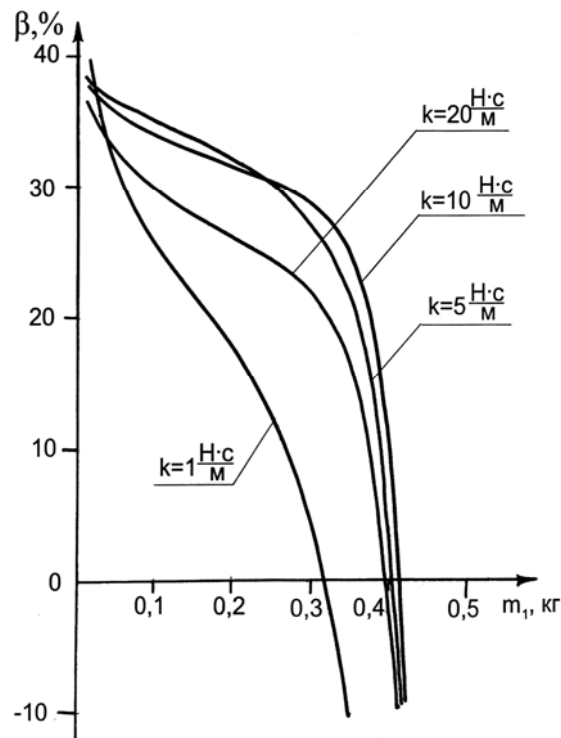


Рис. 4.5. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи β від приведеної маси m_1 високочастотної складової для фіксованих значень коефіцієнта в'язкого тертя k_1 в системі “нитки основи–скало” (швидкість в'язання – 1800 петельних рядів на хвилину)

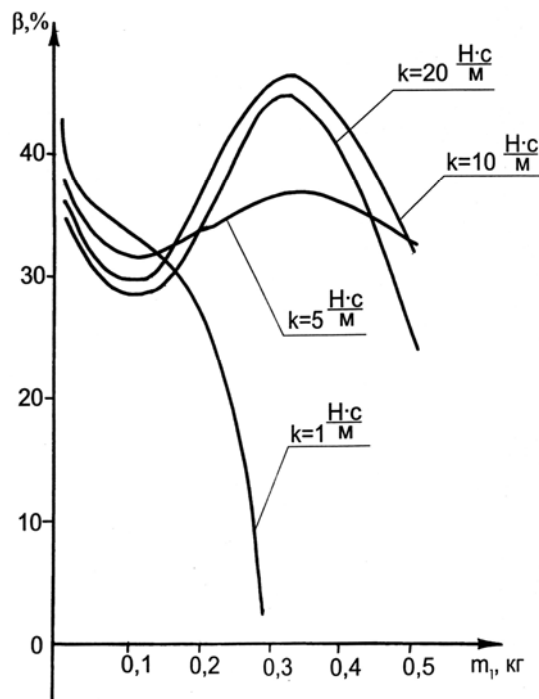


Рис. 4.6. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи β від приведеної маси m_1 високочастотної складової для фіксованих значень коефіцієнта в'язкого тертя k_1 в системі “нитки основи–скало” (швидкість в'язання – 2400 петельних рядів на хвилину)

Висновки 2, 3 та 5 підтверджуються наведеними графічними залежностями між приведеною масою високочастотної складової m_1 і ступенем стабілізації динамічного натягу ниток основи β (рис. 4.5 та 4.6 для швидкостей в'язання 1200 і 1800 петельних рядів на хвилину).

4.4.2. Стабілізація середнього натягу ниток основи

Двомасові пасивні СННО забезпечують стабілізацію як динамічного так і середнього натягу ниток основи. Для оцінки ефективності стабілізації середнього натягу ниток основи використано чотири раніше означених якісно-часових варіанта збурення з наступним визначенням показників ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи α (2.50), які наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

**Ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи
двомасового СННО (%)**

Варіант якісно-часових збурень	Приведена до скала маса рухомих елементів, кг				
	0,01	0,1	0,3	0,5	1
Перший	66	66	66	66	68,4
Другий	66,4	66,4	66,4	66,4	66,4
Третій	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7
Четвертий	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7

З отриманих результатів випливає, що двомасові пасивні СННО забезпечують відносно одномасових СННО більш високий ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи – порядку 66 %, однак для досягнення максимально можливого значення – 100 % є суттєвий резерв.

Висновки

1. Розроблена універсальна математична модель, що описує роботу одно- і двомасових пасивних СННО в перехідних і сталих режимах роботи ВМ. Форма введення функції збурення найбільш прийнятна у вигляді таблиць.

2. Дослідження одно- і двомасових пасивних СННО як стабілізаторів динамічного натягу ниток основи показали відсутність суттєвих переваг однієї конструкції відносно іншої.

3. Дослідження одно- і двомасових пасивних СННО як стабілізаторів середнього натягу ниток основи показали значну перевагу двомасових стабілізаторів. Так одномасові стабілізатори дозволяють досягнути 50 % рівня ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи, а двомасові – 66 %, однак для досягнення максимально можливого значення – 100 % є суттєвий резерв.

4. На ефективність роботи пасивних СННО як стабілізаторів динамічного натягу ниток основи найбільш суттєвий вплив спричиняє величина приведеної до скала маси високочастотної складової, при цьому з її зменшенням ступінь стабілізації динамічного натягу, як правило, збільшується.

5. Встановлені для робочих швидкостей (1200–2400 петельних рядів на хвилину) допустимі значення приведеної маси m_1 високочастотної складової, $0,1 \text{ кг} < m_1 < 0,3 \text{ кг}$, які забезпечують 30 % і вище рівень ступеня стабілізації динамічного натягу, при цьому, у вказаних межах меншому значенню приведеної маси високочастотної складової не завжди відповідає більше значення ступеня стабілізації динамічного натягу.

6. Для перспективних швидкостей в'язання (більше 2400 петельних рядів на хвилину) приведена маса високочастотної складової не повинна перевищувати 0,1 кг, в протилежному випадку можливий процес дестабілізації натягу ниток основи.

7. Суттєво впливає на ефективність роботи пасивних СННО як СДННО значення коефіцієнта в'язкого тертя у системі високочастотної складової СННО. Встановлено можливі границі його зміни – $5 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м} < k_1 < 20 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$.

8. Встановлені можливі значення параметрів двомасових СННО, що забезпечують вибірковість їх роботи – високочастотна складова приймає участь у стабілізації динамічного і середнього натягу ниток основи, а низькочастотна – тільки середнього.

9. На основі аналітичних досліджень встановлено можливі напрями удосконалення пасивних СННО:

– зменшення приведеної маси високочастотної складової до значення порядку 0,15 кг;

– забезпечення значення коефіцієнта в'язкого тертя в системі “нитки основи–скало” в межах $5 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м} < k_1 < 20 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$;

– забезпечення приведеної маси низькочастотної складової в межах $20 \text{ кг} < m_2 < 30 \text{ кг}$;

– забезпечення коефіцієнта в'язкого тертя низькочастотної складової в межах $50 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м} < k_2 < 60 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$.

РОЗРОБКА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПАСИВНИХ СДННО

Аналіз конструкцій сучасних ОВМ і ВПМ показав, що в якості СДННО використовують в основному пасивні стабілізатори, в основу конструкції яких покладено пружний елемент. Аналітичні дослідження пасивних СДННО підтвердили правомірність вимог до робочих параметрів пасивних СДННО – мати максимально можливу частоту власних коливань при відносно (спільномірній з жорсткістю ниток основи в пружній системі заправки) низькій приведеній до скала жорсткості. Вказані вимоги і визначили основні напрями удосконалення пасивних СДННО – створення високочастотних конструкцій.

5.1. Конструктивні особливості високочастотних СДННО

Аналіз процесу створення високочастотних СДННО показав, що в його основу покладено постійне зменшення маси рухомих елементів стабілізатора, зокрема скала і пружних елементів. Так, зменшення маси скала відбувалося заміною трубчастих балочок на балочки з напівкруглим і П-подібним профілем [158–160], а також виконання скала у вигляді натягнутої струни [55].

Зменшення маси пружних елементів відбувалося шляхом заміни циліндричних пружин на консольні пружні пластини, на вільних кінцях яких закріплено скало. Удосконалення форми пружних пластин привело до широкого використання клиноподібних пластин, які рівномірно закріплені на станині по ширині заправки ниток основи. Недоліком таких конструкцій є необхідність вве-

дення додаткового елемента (болтове з'єднання, затискачі) для закріплення скала на кінцях пружних пластин.

Подальше удосконалення пасивних СДННО відмічене створенням конструкцій, в яких пружний елемент виконує функцію скала. Для цього В.А. Радзієвський запропонував пружний елемент виконати у вигляді консольної монопластини, вільний кінець якої закруглено, що дозволило використовувати його як скало [113]. Значне збільшення частоти власних коливань СДННО вдалося досягти за рахунок використання для пружних елементів матеріалів з малою питомою вагою, однак цей напрям обмежений можливістю матеріалів [12].

Використовуючи методи теорії рішення винахідницьких задач [135–139] було розроблено новий напрям удосконалення високочастотних СДННО [162, 163] – виконання на поверхні пружних консольних монопластин наскрізних вирізів. Ідея полягає в тому, щоб максимально зменшити масу пружних елементів, не зменшуючи суттєво приведену до скала жорсткість. Аналіз можливих форм наскрізних вирізів показав, що зазначеного результату можна досягти за рахунок виконання трикутних вирізів, в яких висота спрямована до місця закріплення пластини, а основа спрямована і паралельна до скала.

На рис. 5.1 зображено загальний вигляд високочастотного СДННО, який включає консольну пружну монопластину 1, вільний кінець якої має закруглення 2, яке в системі заправки огинається нитками основи 3, і тим самим виконує функцію скала. Безпосередньо на поверхні пластини 1 виконано ряд трикутних наскрізних вирізів 4, вершини яких спрямовані до місця кріплення пластин, а основи спрямовані і паралельні до скала 2.

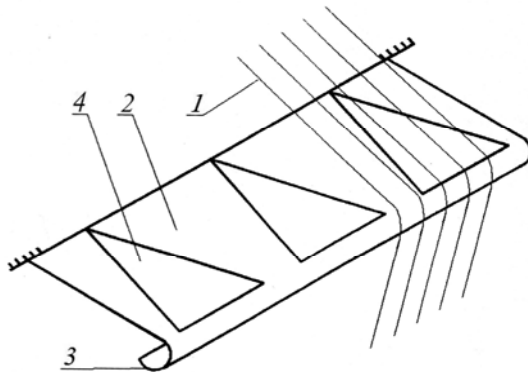


Рис. 5.1. Високочастотний СДННО:

1 – нитки основи; 2 – пластина; 3 – скало; 4 – наскрізний виріз

Запропоноване розміщення наскрізних трикутних вирізів дозволяє суттєво зменшити масу пружного елементу і в меншій мірі приведену до скала його жорсткість.

Для кількісної оцінки ефективності запропонованого конструктивного рішення виконано аналітичні та числові дослідження, направлені на визначення частоти власних коливань СДННО.

5.2. Аналітичні дослідження високочастотного СДННО

Метою аналітичних досліджень є отримання математичних залежностей для визначення частоти власних коливань СДННО, як з наскрізними вирізами, так і при їх відсутності [113]. На основі отриманих математичних залежностей передбачена розробка універсальної програми обчислень першої частоти власних коливань високочастотного СДННО з наступною порівняльною оцінкою відомої і запропонованої конструкції високочастотного СДННО [113].

5.2.1. Математичне моделювання високочастотного СДННО

Метою математичного моделювання високочастотного СДННО є отримання залежності між першою частотою власних коливань стабілізатора і його конструктивними параметрами.

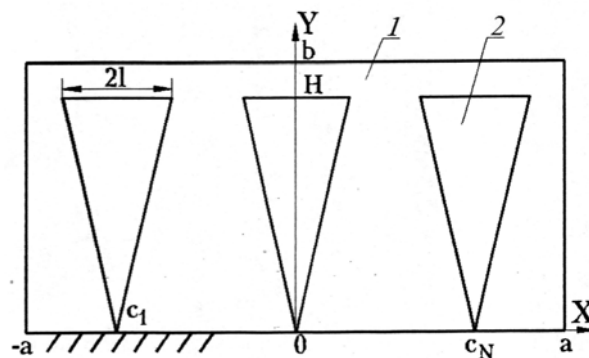


Рис. 5.2. Розрахункова схема високочастотного СДННО:

1 – пластина; 2 – наскрізний виріз

Розрахункова схема високочастотного СДННО наведена на рис. 5.2. У декартовій системі координат YOX розміщена пружна монопластина 1 з трикутними наскрізними вирізами 2 . Скало, що виконано у вигляді закругленого вільного кінця пластини 1 в розрахунковій схемі відсутнє. Це дозволяє суттєво спростити математичні залежності, при цьому відсутність скала для обох конструкцій СДННО (відомої і розробленої) при порівняльній оцінці не впливає на достовірність отриманих результатів.

У розрахунковій схемі прийняті наступні позначення: ширина пластини – $2a$, довжина (виліт) – b , товщина – h . На пластині виконано N наскрізних вирізів у формі однакових рівнобедрених трикутників, вершини яких знаходяться на лінії защемлення, а основи паралельні зовнішній стороні пластини. Трикутні вирізи розміщені симетрично відносно середини пластини (осі ординат). Позначимо абсциси вершин трикутних вирізів через c_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$), їх висоту – H , довжину основи – $2l$.

У вибраній декартовій системі координат диференціальне рівняння руху коливної пластини, має вигляд [326, 327]:

$$\frac{d^4 W}{dx^4} + 2 \frac{d^4 W}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 W}{dy^4} + \frac{\rho h}{D} \frac{d^2 W}{dt^2} = \frac{1}{D} F(x, y, t), \quad (5.1)$$

де $W(x, y, z)$ – відхилення точки з координатами (x, y) від положення рівноваги;

ρ – щільність матеріалу пластини;

$D = Eh^3 / (12(1 - \nu))$ – циліндрична жорсткість пластини;

E – модуль Юнга;

ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу пластини;

$F(x, y, t)$ – інтенсивність зовнішнього навантаження.

У випадку вільних коливань $F(x, y, t) \equiv 0$.

Потенційна енергія пластини визначається за формулою:

$$V = \frac{1}{2} \iint_S D \left[\left(\frac{d^2 W}{dx^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2 W}{dy^2} \right)^2 + 2\nu \frac{d^2 W}{dx^2} \frac{d^2 W}{dy^2} + 2(1 - \nu) \left(\frac{d^2 W}{dxdy} \right)^2 \right] dx dy, \quad (5.2)$$

де S – область, яку займає пластина.

Кінетична енергія пластини:

$$T = \frac{\rho}{2} \iint_S h \left(\frac{d^2 W}{dt^2} \right)^2 dx dy. \quad (5.3)$$

Для закріпленого краю пластини повинні виконуватися граничні умови:

$$W = 0; \quad \frac{dW}{dx} = 0; \quad y = 0. \quad (5.4)$$

На вільному краю $y = b$ необхідне виконання умов:

$$\frac{d^2 W}{dy^2} + \nu \frac{d^2 W}{dx^2} = 0; \quad \frac{d^3 W}{dy^3} + (2 - \nu) \frac{d^3 W}{dx^2 dy} = 0; \quad y = b. \quad (5.5)$$

На вільних краях ($x = \pm a$) повинні виконуватися наступні умови:

$$\frac{d^2 W}{dy^2} + \nu \frac{d^2 W}{dx^2} = 0; \quad \frac{d^3 W}{dy^3} + (2 - \nu) \frac{d^3 W}{dx^2 dy} = 0; \quad x = \pm a. \quad (5.6)$$

Точні рішення такого типу задач відомі для достатньо вузького класу [327], в який ця задача не входить, тому для її рішення використаємо метод Рітца [328, 329].

Переміщення точок пластини будемо шукати у вигляді розкладення в подвійний ряд:

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} X_i(x) Y_j(y) (\beta \cos \omega t + \gamma \sin \omega t), \quad (5.7)$$

де

$$\begin{aligned} X_i(x) = & A_{0i} + A_{1i} \operatorname{ch}(\xi_i x) + A_{2i} \cos(\xi_i x) + A_{3i} \operatorname{sh}(\xi_i x) + \\ & + A_{4i} \sin(\xi_i x) + A_{5i} \operatorname{ch}(\xi_i x) \cos(\xi_i x) + A_{6i} \operatorname{ch}(\xi_i x) \sin(\xi_i x) + \\ & + A_{7i} \operatorname{sh}(\xi_i x) \cos(\xi_i x) + A_{8i} \operatorname{ch}(\xi_i x) \sin(\xi_i x); \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} Y_j(y) = & B_{1j} \operatorname{ch}(\eta_j y) + B_{2j} \cos(\eta_j y) + B_{3j} \operatorname{sh}(\eta_j y) + \\ & + B_{4j} \sin(\eta_j y) + B_{5j} \operatorname{ch}(\eta_j y) \cos(\eta_j y) + B_{6j} \operatorname{ch}(\eta_j y) \times \\ & \times \sin(\eta_j y) + B_{7j} \operatorname{sh}(\eta_j y) \cos(\eta_j y) + B_{8j} \operatorname{sh}(\eta_j y) \sin(\eta_j y); \end{aligned} \quad (5.9)$$

де A_{ki} , B_{nj} , α_{ij} , ξ_i , η_j , β , γ – невідомі сталі;

ω – колова частота власних коливань пластини.

Для виконання умов (5.4) – (5.6) достатньо забезпечити наступне:

$$\begin{aligned} \left. \frac{d^2 W}{dy^2} \right|_{y=b} = 0; \quad \left. \frac{d^2 W}{dy^2} \right|_{y=b} = 0; \quad \left. \frac{d^3 W}{dy^2} \right|_{y=b} = 0; \quad \left. \frac{d^3 W}{dx^2 dy} \right|_{y=b} = 0; \\ W|_{y=0} = 0; \quad \left. \frac{dW}{dy} \right|_{y=0} = 0; \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\left. \frac{d^2 W}{dx^2} \right|_{x=\pm a} = 0; \quad \left. \frac{d^2 W}{dy^2} \right|_{x=\pm a} = 0; \quad \left. \frac{d^3 W}{dx^3} \right|_{x=\pm a} = 0; \quad \left. \frac{d^3 W}{dy^2 dx} \right|_{x=\pm a} = 0.$$

Підставивши розкладення (5.7) в граничні умови (5.10) отримаємо дві системи лінійних рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів A_{ki} , B_{nj} . Приймаючи, що:

$$\xi_i = \pi i/a; \quad \eta_j = \pi j/b, \quad (5.11)$$

і розв'язавши вказані системи рівнянь знайдемо:

$$\begin{aligned} A_{0i} = ch(\pi i); \quad A_{1i} = -4; \quad A_{2i} = 2(-1)^i ch(\pi i); \quad A_{3i} = 0; \\ A_{4i} = 0; \quad A_{5i} = (-1)^i; \quad A_{6i} = 0; \quad A_{7i} = 0; \quad A_{8i} = 3(-1)^i; \quad (5.12) \\ B_{1j} = 3d_{1j}; \quad B_{2j} = -3d_{1j}; \quad B_{3j} = 3d_{2j}; \quad B_{5j} = 0; \\ B_{4i} = (4(-1)^j ch^2(\pi i) - 4ch(\pi i) - (-1)^j sh^2(\pi i))(sh(\pi i))^{-1} d_{1j} + \\ + 3(-1)^j ch(\pi i) d_{2j}; \quad B_{6j} = (3(-1)^j ch(\pi i) - 3 - 4(-1)^j ch^2(\pi i) + \\ + 4ch(\pi i) + (-1)^j sh^2(\pi i)(sh(\pi i))^{-1} d_{1j} + 3((-1)^j - 1 - (-1)^j ch(\pi i)) d_{2j}; \\ B_{8j} = 3(ch(\pi j) - 2(-1)^j ch(\pi j) + (-1)^j ch^2(\pi j))(sh(\pi j))^{-1} d_{2j} + \\ + (4(-1)^{j+1} ch^2(\pi j) + 4ch(\pi j) - 2(-1)sh^2(\pi j) + 4(-1)^j ch^3(\pi j) - \\ - 4ch^2(\pi j) - (-1)^j sh^2(\pi j)ch(\pi j))(sh(\pi j))^{-2} d_{1j}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{1j} &= 3(2(-1)^j \operatorname{sh}^2(\pi j) + 4\operatorname{ch}^2(\pi j) + 2\operatorname{sh}^2(\pi j)\operatorname{ch}(\pi j) - 3\operatorname{sh}^2(\pi j) - \\
 &- (-1)^j 2\operatorname{ch}^2(\pi j) - 2\operatorname{ch}^3(\pi j))\operatorname{sh}(\pi j); d_{2j} = (5 + 8(-1)^j)\operatorname{sh}^2(\pi j)\operatorname{ch}(\pi j) - \\
 &- 3(-1)^j \operatorname{sh}^2(\pi j) + 8(-1)^j \operatorname{ch}^2(\pi j) - 8\operatorname{ch}^3(\pi j) + 8\operatorname{ch}^4(\pi j) - \\
 &- 8(-1)^j \operatorname{ch}^3(\pi j) - 10\operatorname{ch}^2(\pi j)\operatorname{sh}^2(\pi j) + 2\operatorname{sh}^4(\pi j).
 \end{aligned}$$

Для оцінки можливостей запропонованого напрямку удосконалення пасивного високочастотного СДННО достатньо мати значення першої частоти власних коливань пластин. У цьому випадку перетворення суттєво спрощуються, тому що в розкладенні (5.7) можна обмежитися тільки першим членом ряду, тобто:

$$W = \alpha_1 X(x)Y(y)(\beta \cos \omega t + \sin \omega t), \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned}
 \text{де } X(x) &= \operatorname{ch}\pi - 4\operatorname{ch}\frac{\pi x}{a} - 2\operatorname{ch}\pi \cos\frac{\pi x}{a} - \operatorname{ch}\frac{\pi x}{a} \cos\frac{\pi x}{a} - 3\operatorname{sh}\frac{\pi x}{a} \sin\frac{\pi x}{a}; \\
 Y(y) &= 3d_1 \operatorname{ch}\frac{\pi y}{b} - 3d_1 \cos\frac{\pi y}{b} + 3d_2 \operatorname{sh}\frac{\pi y}{b} + [(\operatorname{sh}^2 \pi - 4\operatorname{ch}^2 \pi - 4\operatorname{ch}\pi) \times \\
 &\times (\operatorname{sh}\pi)^{-1} d_1 - 3\operatorname{ch}(\pi)d_2] \sin\frac{\pi y}{b} + [(\operatorname{ch}\pi + 4\operatorname{ch}^2 \pi - \operatorname{sh}^2 \pi - 3) \times \\
 &\times (\operatorname{sh}\pi)^{-1} d_1 + 3(\operatorname{ch}\pi - 2)d_2] \operatorname{ch}\frac{\pi y}{b} \sin\frac{\pi y}{b} + 3[(1 + \operatorname{ch}\pi(\operatorname{sh}\pi)^{-1} d_1 + 3d_2) \times \\
 &\times \operatorname{sh}\frac{\pi y}{b} \cos\frac{\pi y}{b} + [3(3\operatorname{ch}\pi - \operatorname{ch}^2 \pi)(\operatorname{sh}\pi)^{-1} d_2 + (4\operatorname{ch}\pi + 2\operatorname{sh}^2 \pi - \\
 &- 4\operatorname{ch}^3 \pi + (\operatorname{sh}^2 \pi)(\operatorname{ch}\pi))(\operatorname{sh}\pi)^{-2} d_1] \operatorname{sh}\frac{\pi y}{b} \sin\frac{\pi y}{b}; \\
 d_1 &= 3(6\operatorname{ch}^2 \pi - 5\operatorname{sh}^2 \pi + 2\operatorname{sh}^2(\pi)\operatorname{ch}\pi - 2\operatorname{ch}^3 \pi)\operatorname{sh}\pi; \\
 d_2 &= 8\operatorname{ch}^4 \pi + 2\operatorname{sh}^4 \pi - 10\operatorname{ch}^2(\pi)\operatorname{sh}^2 \pi - 8\operatorname{ch}^2 + 3\operatorname{sh}^2 \pi - 3\operatorname{sh}^2(\pi)\operatorname{ch}\pi.
 \end{aligned}$$

За методом Рітца кінетична і потенційна енергії пластини при її коливаннях повинні задовольняти оптимальній умові:

$$\frac{d}{d\alpha_{ij}}(V - T) = 0. \quad (5.14)$$

Враховуючи вирази (5.2) та (5.3) для потенційної і кінетичної енергій пластин, а також вираз (5.13) для переміщення точок пластини, з рівняння (5.14) отримаємо:

$$\frac{d}{d\alpha_1} \iint [(\alpha_1 X''(x)Y(y))^2 + (\alpha_1 X(x)Y''(y))^2 + 2\nu\alpha_1^2 X''(x)Y''(y) \times \\ \times X(x)Y(y) + 2(1-\nu)(X'(x)Y(y))^2 - \frac{\rho h \omega^4}{D} X^2(x)Y^2(y)] dx dy = 0. \quad (5.15)$$

Підставляючи вирази для $X(x)$ і $Y(y)$ у рівняння (5.15), після низки перетворень отримуємо рівняння для визначення частоти власних коливань:

$$\omega^4 = \frac{D}{\rho h} \{E_2 + E_3 + 2\nu E_4 + 2(1-\nu)E_5 - \sum_{m=1}^N [Q_{m,2} - I_{m,2} + \\ + H_{m,2} + G_{m,2} + Q_{m,3} - I_{m,3} + H_{m,3} + G_{m,3} + 2\nu(Q_{m,4} - I_{m,4} + \\ + H_{m,4} + G_{m,4}) + 2(1-\nu)(Q_{m,5} - I_{m,5} + H_{m,5} + G_{m,5})]\} \times \\ \times [E_1 - \sum_{m=1}^N [Q_{m,1} - I_{m,1} + H_{m,1} + G_{m,1}]]^{-1}. \quad (5.16)$$

Тут прийнято наступні позначення:

$$E_i = \frac{a}{\pi} \chi_i^2 Z_i [2\gamma_{i,1}\pi + (\gamma_{i,2} + 0,5\gamma_{i,4} - 0,5\gamma_{i,13} - 0,8\gamma_{i,9} + 0,4\gamma_{i,10}) \times \\ \times \text{sh}(2\pi) + (2\gamma_{i,5} - 0,8\gamma_{i,12} - \gamma_{i,7} + \gamma_{i,8} + 0,4\gamma_{i,11}) \text{sh}\pi]; \\ Z_i = \varepsilon_{i,1} b + \frac{b}{2\pi} [\varepsilon_{i,4} (\text{ch}(2\pi) - 1) + 4\varepsilon_{i,6} + 2\varepsilon_{i,7} (\text{ch}\pi - 1) + \\ + 2\varepsilon_{i,9} \text{sh}\pi + \varepsilon_{i,2} \text{sh}(2\pi)] + (\delta_{i,2} - \delta_{i,10}) \text{sh}(2\pi) + (\delta_{i,14} - \delta_{i,4}) \text{sh}\pi + \\ + \delta_{i,12} (\text{ch}\pi - 1) + (\delta_{i,15} - \delta_{i,8}) \text{ch}(2\pi) - \delta_{i,8} - \delta_{i,15} - \delta_{i,6} (1 + \text{ch}\pi);$$

$$\begin{aligned}
 Q_{m,i} = & \frac{a}{\pi} \chi_i^2 [\Phi_i(h_m) + \Psi_i(h_m)] \left[\frac{\pi}{a} \gamma_{i,1} x + 0,5 \gamma_{i,2} \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} + \right. \\
 & + 0,5 \gamma_{i,3} \sin \frac{2\pi x}{a} + \gamma_{i,5} \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,6} \sin \frac{\pi x}{a} + 0,25(\gamma_{i,4} + \gamma_{i,13}) \operatorname{ch} \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \\
 & + 0,25(\gamma_{i,4} - \gamma_{i,13}) \operatorname{sh} \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} + 0,5(\gamma_{i,7} + \gamma_{i,8}) \operatorname{ch} \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi x}{a} \\
 & + 0,5(\gamma_{i,7} - \gamma_{i,8}) \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi x}{a} + 0,2(\gamma_{i,9} + \gamma_{i,10}) \operatorname{ch} \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \\
 & + 0,2(\gamma_{i,9} - \gamma_{i,10}) \operatorname{sh} \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} + 0,2(\gamma_{i,11} - \gamma_{i,12}) \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} + \\
 & \left. + 0,2(\gamma_{i,12} + 2\gamma_{i,11}) \operatorname{ch} \frac{\pi x}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \right] \Big|_{C_m^{-l}}^{C_m^{+l}};
 \end{aligned}$$

$$I_{m,i} = \chi_i^2 \int_{C_m^{-l}}^{C_m^{+l}} P_i(x) \Phi(kx - \lambda_m) dx; \quad H_{m,i} = \chi_i^2 \int_{C_m^{-l}}^{C_m^{+l}} P_i(x) \Phi(kx - \lambda_m) dx;$$

$$G_{m,i} = \chi_i^2 \int_{C_m^{+l}}^{C_m^{-l}} P_i(x) \Phi(kx - \lambda_m) dx;$$

$$\begin{aligned}
 P_i(x) = & \gamma_{i,1} + \gamma_{i,2} \operatorname{ch} \frac{2\pi x}{a} + \gamma_{i,3} \cos \frac{2\pi x}{a} + \gamma_{i,4} \operatorname{ch} \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} + \\
 & + \gamma_{i,5} \operatorname{ch} \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,6} \cos \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,7} \operatorname{ch} \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,8} \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi x}{a} + \\
 & + \gamma_{i,9} \operatorname{ch} \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,10} \operatorname{sh} \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi x}{a} + \gamma_{i,11} \operatorname{ch} \frac{\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} + \\
 & + \gamma_{i,12} \operatorname{sh} \frac{\pi x}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} + \gamma_{i,13} \operatorname{sh} \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{2\pi x}{a};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_i(y) = & \frac{b}{2\pi} \left(\varepsilon_{i,4} \operatorname{ch} \frac{2\pi y}{b} - \varepsilon_{i,5} \cos \frac{2\pi y}{b} - 2\varepsilon_{i,6} \cos \frac{\pi y}{b} + 2\varepsilon_{i,7} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{b} \right) + \\ & + \delta_{i,5} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{b} \sin \frac{\pi y}{b} + \delta_{i,6} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{b} \cos \frac{\pi y}{b} + \delta_{i,7} \operatorname{sh} \frac{2\pi y}{b} \sin \frac{\pi y}{b} + \\ & + \delta_{i,8} \operatorname{ch} \frac{2\pi y}{b} \cos \frac{\pi y}{b} + \delta_{i,11} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{b} \sin \frac{2\pi y}{b} + \delta_{i,12} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{b} \cos \frac{2\pi y}{b} + \\ & + \delta_{i,15} \operatorname{ch} \frac{2\pi y}{b} \cos \frac{2\pi y}{b} + \delta_{i,16} \operatorname{sh} \frac{2\pi y}{b} \sin \frac{2\pi y}{b}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_i(y) = & \varepsilon_{i,1} y + \frac{b}{2\pi} \left(\varepsilon_{i,2} \operatorname{sh} \frac{2\pi y}{b} + \varepsilon_{i,3} \sin \frac{2\pi y}{b} + 2\varepsilon_{i,8} \sin \frac{\pi y}{b} + 2\varepsilon_{i,9} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{b} \right) + \\ & + \delta_{i,1} \operatorname{ch} \frac{2\pi y}{b} \sin \frac{2\pi y}{b} + \delta_{i,2} \operatorname{sh} \frac{2\pi y}{b} \cos \frac{2\pi y}{b} + \delta_{i,3} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{b} \sin \frac{\pi y}{b} + \\ & + \delta_{i,4} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{b} \cos \frac{\pi y}{b} + \delta_{i,9} \operatorname{ch} \frac{2\pi y}{b} \sin \frac{\pi y}{b} + \delta_{i,10} \operatorname{sh} \frac{2\pi y}{b} \cos \frac{\pi y}{b} + \\ & + \delta_{i,13} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{b} \sin \frac{2\pi y}{b} + \delta_{i,14} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{b} \cos \frac{2\pi y}{b}; \end{aligned}$$

($i = 1 - 5$);

$$\begin{aligned} \gamma_{1,1} = & A_0^2 + \frac{1}{2} A_1^2 + \frac{1}{2} A_2^2 + \frac{1}{4} A_5^2 - \frac{1}{4} A_8^2; & \gamma_{1,2} = & \frac{1}{2} A_1^2 + \frac{1}{4} A_5^2 + \frac{1}{4} A_8^2; \\ \gamma_{1,3} = & \frac{1}{2} A_2^2 + \frac{1}{4} A_5^2 + \frac{1}{4} A_8^2; & \gamma_{1,4} = & \frac{1}{4} A_5^2 - \frac{1}{4} A_8^2; & \gamma_{1,5} = & 2A_0 A_1 + A_2 A_5; \\ \gamma_{1,6} = & 2A_0 A_2 + A_1 A_5; & \gamma_{1,7} = & 2A_0 A_5 + 2A_1 A_2; & \gamma_{1,8} = & 2A_0 A_8; \\ \gamma_{1,9} = & A_1 A_5; & \gamma_{1,10} = & A_1 A_8; & \gamma_{1,11} = & A_2 A_5; & \gamma_{1,12} = & A_2 A_8; & \gamma_{1,13} = & \frac{1}{2} A_5 A_8; \\ \gamma_{2,1} = & \frac{1}{2} A_1^2 + \frac{1}{2} A_2^2 + A_8^2 - A_5^2; & \gamma_{2,2} = & \frac{1}{2} A_1^2 + A_8^2 - A_5^2; \\ \gamma_{2,3} = & \frac{1}{2} A_2^2 + A_8^2 + A_5^2; & \gamma_{2,4} = & A_8^2 - A_5^2; & \gamma_{2,5} = & -2A_2 A_8; & \gamma_{2,6} = & 2A_1 A_8; \\ \gamma_{2,7} = & -2A_1 A_2; & \gamma_{2,8} = & 0; & \gamma_{2,9} = & 2A_1 A_8; & \gamma_{2,10} = & -2A_1 A_5; \\ \gamma_{2,11} = & -2A_2 A_8; & \gamma_{2,12} = & 2A_1 A_5; & \gamma_{3,j} = & \gamma_{1,j}, j = 1, 2, 3 \dots 13; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{4,1} &= \frac{1}{2}A_1^2 + \frac{1}{2}A_2^2 + A_5A_8; & \gamma_{4,2} &= \frac{1}{2}A_1^2; & \gamma_{4,3} &= -\frac{1}{2}A_2^2; & \gamma_{4,4} &= A_5A_8; \\
 \gamma_{4,5} &= A_0A_1 + A_2A_8 - \frac{1}{2}A_2A_5; & \gamma_{4,5} &= -A_0A_1 + A_1A_8 + \frac{1}{2}A_1A_5; \\
 \gamma_{4,7} &= 2A_0A_8; & \gamma_{4,8} &= -2A_0A_5; & \gamma_{4,9} &= A_1A_8 + \frac{1}{2}A_1A_5; \\
 \gamma_{4,10} &= \frac{1}{2}A_1A_8 - A_1A_5; & \gamma_{4,11} &= A_2A_8 - \frac{1}{2}A_2A_5; \\
 \gamma_{4,12} &= A_2A_5 - \frac{1}{2}A_2A_8; & \gamma_{4,13} &= \frac{1}{2}(A_8^2 - A_5^2); \\
 \gamma_{5,1} &= -\frac{1}{2}A_1^2 + \frac{1}{2}A_2^2 - A_5A_8; & \gamma_{5,2} &= \frac{1}{2}A_1^2 + \frac{1}{2}A_5^2 + \frac{1}{2}A_8^2; \\
 \gamma_{5,3} &= -\frac{1}{2}A_2^2 - \frac{1}{2}A_5^2 - \frac{1}{2}A_8^2; & \gamma_{5,4} &= A_5A_8; & \gamma_{5,5} &= A_2A_5 - A_2A_8; \\
 \gamma_{5,6} &= -A_1A_5 - A_1A_8; & \gamma_{5,7} &= 0; & \gamma_{5,8} &= -2A_1A_2; \\
 \gamma_{5,9} &= A_1A_5 + A_1A_8; & \gamma_{5,10} &= A_1A_8 - A_1A_5; & \gamma_{5,11} &= A_2A_8 - A_2A_5; \\
 \gamma_{5,12} &= -A_2A_5 - A_2A_8; & \gamma_{5,13} &= \frac{1}{2}A_8^2 - \frac{1}{2}A_5^2; \\
 \varepsilon_{1,1} &= \frac{1}{2}(B_1^2 + B_2^2 - B_3^2 + B_4^2 + \frac{1}{2}B_6^2 - \frac{1}{2}B_7^2 - \frac{1}{2}B_8^2); \\
 \varepsilon_{1,2} &= \frac{1}{2}(B_1^2 + B_3^2 + \frac{1}{2}(B_6^2 + B_7^2 + B_8^2)); \\
 \varepsilon_{1,3} &= \frac{1}{2}(B_2^2 - B_4^2 - \frac{1}{2}(B_6^2 + B_7^2 - B_8^2)); & \varepsilon_{1,4} &= B_1B_3 + \frac{1}{2}B_6B_8; \\
 \varepsilon_{1,5} &= B_2B_4 - \frac{1}{2}B_7B_8; & \varepsilon_{1,6} &= B_1B_6 - B_3B_8; & \varepsilon_{1,7} &= B_2B_7 + B_4B_8; \\
 \varepsilon_{1,8} &= -B_3B_7; & \varepsilon_{1,9} &= B_4B_6; & \varepsilon_{1,10} &= -\frac{1}{4}(B_6^2 - B_7^2 + B_8^2); \\
 \varepsilon_{1,11} &= 2B_1B_2; & \varepsilon_{1,12} &= 2B_1B_4; & \varepsilon_{1,13} &= B_1B_6 + B_3B_8; \\
 \varepsilon_{1,14} &= B_1B_7; & \varepsilon_{1,15} &= B_1B_8 + B_3B_6; & \varepsilon_{1,16} &= 2B_2B_3; \\
 \varepsilon_{1,17} &= B_2B_6; & \varepsilon_{1,18} &= B_2B_7 - B_4B_8; & \varepsilon_{1,19} &= B_2B_8 + B_4B_7;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{1,20} &= 2B_3B_4; \quad \varepsilon_{1,21} = B_3B_7; \quad \varepsilon_{1,22} = -B_4B_6; \quad \varepsilon_{1,23} = \frac{1}{2}B_6B_7; \\
 \varepsilon_{1,24} &= -\frac{1}{2}B_6B_8; \quad \varepsilon_{1,25} = \frac{1}{2}B_7B_8; \quad \varepsilon_{2,j} = \varepsilon_{1,j}, j=1,2,3,\dots, 25; \\
 \varepsilon_{3,1} &= \frac{1}{2}B_1^2 + \frac{1}{2}B_2^2 - \frac{1}{2}B_3^2 + \frac{1}{2}B_4^2 - B_6^2 + B_7^2 + B_8^2; \\
 \varepsilon_{3,2} &= \frac{1}{2}B_1^2 + \frac{1}{2}B_3^2 + B_6^2 + B_7^2 + B_8^2; \\
 \varepsilon_{3,3} &= \frac{1}{2}B_2^2 - \frac{1}{2}B_4^2 - B_6^2 - B_7^2 + B_8^2 - \frac{1}{2}B_4^2; \quad \varepsilon_{3,4} = B_1B_3 + 2B_6B_8; \\
 \varepsilon_{3,5} &= B_2B_4 - 2B_7B_8; \quad \varepsilon_{3,6} = -2B_1B_7; \quad \varepsilon_{3,7} = -2B_2B_6; \\
 \varepsilon_{3,8} &= 2(B_1B_8 - B_3B_6); \quad \varepsilon_{3,9} = 2(B_4B_7 - B_2B_8); \quad \varepsilon_{3,10} = B_6^2 - B_7^2 + B_8^2; \\
 \varepsilon_{3,11} &= -2B_1B_2; \quad \varepsilon_{3,12} = -2B_1B_4; \quad \varepsilon_{3,13} = -2B_1B_7; \\
 \varepsilon_{3,14} &= 2(B_1B_6 - B_3B_8); \quad \varepsilon_{3,15} = -2B_3B_7; \quad \varepsilon_{3,16} = -2B_2B_3; \\
 \varepsilon_{3,17} &= 2(B_2B_7 - B_4B_8); \quad \varepsilon_{3,18} = -2B_2B_6; \quad \varepsilon_{3,19} = -2B_4B_6; \\
 \\
 \varepsilon_{3,20} &= -2B_3B_4; \quad \varepsilon_{3,21} = 2(B_1B_8 - B_3B_6); \quad \varepsilon_{3,22} = -2(B_2B_8 - B_4B_7); \\
 \varepsilon_{3,23} &= -2B_6B_7; \quad \varepsilon_{3,24} = 2B_6B_8; \quad \varepsilon_{3,25} = -2B_7B_8; \\
 \varepsilon_{4,1} &= \frac{1}{2}B_1^2 - \frac{1}{2}B_2^2 - \frac{1}{2}B_3^2 - \frac{1}{2}B_4^2 - B_6B_7; \quad \varepsilon_{4,2} = \frac{1}{2}B_1^2 + \frac{1}{2}B_3^2; \\
 \varepsilon_{4,3} &= \frac{1}{2}B_4^2 - \frac{1}{2}B_2^2; \quad \varepsilon_{4,4} = B_1B_3; \quad \varepsilon_{4,5} = -B_2B_4; \\
 \varepsilon_{4,6} &= -B_1B_7 + \frac{1}{2}B_1B_6 - \frac{1}{2}B_3B_8; \quad \varepsilon_{4,7} = B_2B_6 - \frac{1}{2}B_2B_7 - \frac{1}{2}B_4B_8; \\
 \varepsilon_{4,8} &= B_1B_8 - B_3B_6 - \frac{1}{2}B_3B_7; \quad \varepsilon_{4,9} = B_2B_8 - B_4B_7 - \frac{1}{2}B_4B_6; \\
 \varepsilon_{4,10} &= B_6B_7; \quad \varepsilon_{4,11} = 0; \quad \varepsilon_{4,12} = 0; \quad \varepsilon_{4,13} = -B_1B_7 + \frac{1}{2}B_1B_6 + \frac{1}{2}B_3B_8; \\
 \varepsilon_{4,14} &= B_1B_6 + B_3B_8 + \frac{1}{2}B_1B_7; \quad \varepsilon_{4,15} = -B_3B_7 + \frac{1}{2}B_3B_6 + \frac{1}{2}B_1B_8;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{4,16} &= 0; & \varepsilon_{4,17} &= B_4 B_8 - B_2 B_7 - \frac{1}{2} B_2 B_6; \\
 \varepsilon_{4,18} &= B_2 B_6 - \frac{1}{2} B_2 B_7 - \frac{1}{2} B_4 B_8; & \varepsilon_{4,19} &= B_4 B_6 - \frac{1}{2} B_4 B_7 - \frac{1}{2} B_2 B_8; \\
 \varepsilon_{4,20} &= 0; & \varepsilon_{4,21} &= B_1 B_8 + B_3 B_6 + \frac{1}{2} B_3 B_7; \\
 \varepsilon_{4,22} &= B_2 B_8 + B_4 B_7 + \frac{1}{2} B_4 B_6; & \varepsilon_{4,23} &= \frac{1}{2} (B_6^2 - B_7^2 + B_8^2); & \varepsilon_{4,24} &= B_7 B_8; \\
 \varepsilon_{4,25} &= B_6 B_8; \\
 \varepsilon_{5,1} &= -\frac{1}{2} B_1^2 + \frac{1}{2} B_2^2 + \frac{1}{2} B_3^2 + \frac{1}{4} B_4^2 + B_6 B_7; \\
 \varepsilon_{5,2} &= \frac{1}{2} B_1^2 + \frac{1}{2} B_3^2 + \frac{1}{2} B_6^2 + \frac{1}{2} B_7^2 + \frac{1}{2} B_8^2; \\
 \varepsilon_{5,3} &= \frac{1}{4} B_4^2 - \frac{1}{2} B_2^2 + \frac{1}{2} B_6^2 + \frac{1}{2} B_7^2 + \frac{1}{2} B_8^2; \\
 \varepsilon_{5,4} &= B_1 B_3 + B_6 B_8; & \varepsilon_{5,5} &= B_7 B_8 - B_2 B_4; & \varepsilon_{5,6} &= B_1 B_7 - B_1 B_6 + B_3 B_8; \\
 \varepsilon_{5,7} &= B_2 B_7 - B_2 B_6 + B_4 B_8; & \varepsilon_{5,8} &= -B_1 B_8 + B_3 B_6 + B_3 B_7; \\
 \varepsilon_{5,9} &= B_4 B_6 + B_4 B_7 - B_2 B_8; & \varepsilon_{5,10} &= B_6 B_7; & \varepsilon_{5,11} &= 2B_3 B_4; \\
 \varepsilon_{5,12} &= -2B_2 B_3; & \varepsilon_{5,13} &= B_1 B_6 - B_1 B_7 + B_3 B_8; \\
 \varepsilon_{5,14} &= B_1 B_6 + B_1 B_7 + B_3 B_8; & \varepsilon_{5,15} &= B_1 B_8 + B_3 B_6 - B_3 B_7; \\
 \varepsilon_{5,16} &= 2B_1 B_4; & \varepsilon_{5,17} &= B_4 B_8 - B_2 B_6 - B_2 B_7; \\
 \varepsilon_{5,18} &= B_2 B_6 - B_2 B_7 + B_4 B_8; & \varepsilon_{5,19} &= B_4 B_6 - B_2 B_8 - B_4 B_7; \\
 \varepsilon_{5,20} &= -2B_1 B_2; & \varepsilon_{5,21} &= B_1 B_8 + B_3 B_6 + B_3 B_7; \\
 \varepsilon_{5,22} &= B_2 B_8 + B_4 B_6 + B_4 B_7; & \varepsilon_{5,23} &= \frac{1}{2} B_6^2 - \frac{1}{2} B_7^2 + \frac{1}{2} B_8^2; \\
 \varepsilon_{5,24} &= B_7 B_8; & \varepsilon_{5,25} &= B_6 B_8;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{i,1} &= \frac{b}{4\pi}(\varepsilon_{i,10} + \varepsilon_{i,23}); \delta_{i,2} = \frac{b}{4\pi}(\varepsilon_{i,10} - \varepsilon_{i,23}); \\
 \delta_{i,3} &= \frac{b}{2\pi}(\varepsilon_{i,11} + \varepsilon_{i,20}); \delta_{i,4} = \frac{b}{2\pi}(\varepsilon_{i,11} - \varepsilon_{i,20}); \\
 \delta_{i,5} &= \frac{b}{2\pi}(\varepsilon_{i,12} + \varepsilon_{i,16}); \delta_{i,6} = \frac{b}{2\pi}(\varepsilon_{i,16} - \varepsilon_{i,12}); \\
 \delta_{i,7} &= \frac{b}{5\pi}(2\varepsilon_{i,13} + \varepsilon_{i,14}); \delta_{i,8} = \frac{b}{5\pi}(2\varepsilon_{i,14} - \varepsilon_{i,13}); \\
 \delta_{i,9} &= \frac{b}{5\pi}(2\varepsilon_{i,15} + \varepsilon_{i,21}); \delta_{i,10} = \frac{b}{5\pi}(2\varepsilon_{i,14} - \varepsilon_{i,13}); \\
 \delta_{i,11} &= \frac{b}{5\pi}(\varepsilon_{i,17} + \varepsilon_{i,18}); \delta_{i,12} = \frac{b}{5\pi}(\varepsilon_{i,18} - \varepsilon_{i,17}); \\
 \delta_{i,13} &= \frac{b}{5\pi}(\varepsilon_{i,19} + \varepsilon_{i,22}); \delta_{i,14} = \frac{b}{5\pi}(\varepsilon_{i,22} - \varepsilon_{i,19}); \\
 \delta_{i,15} &= \frac{b}{4\pi}(\varepsilon_{i,24} - \varepsilon_{i,25}); \delta_{i,16} = \frac{b}{4\pi}(\varepsilon_{i,24} + \varepsilon_{i,25}), i = 1, 2, 3 \dots 5; \\
 x_1 &= 1; x_2 = \frac{\pi^2}{a^2}; x_3 = \frac{\pi^2}{b^2}; x_4 = \frac{\pi^2}{ab}; x_5 = \frac{\pi^2}{ab};
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \operatorname{ch}\pi; A_2 = -2\operatorname{ch}\pi; A_5 = -1; A_8 = -3; \\
 B_1 &= 3d_1; B_2 = -3d_1; B_3 = 3d_2; B_4 = -(4\operatorname{ch}^2\pi + 4\operatorname{ch}\pi - \operatorname{sh}^2\pi) \times \\
 &\quad d_1(\operatorname{sh}\pi)^{-1} - 3\operatorname{ch}\pi d_2; B_7 = 3d_2 + 3(1 + \operatorname{ch}\pi)d_1(\operatorname{sh}\pi)^{-1}; \\
 B_6 &= 3(\operatorname{ch}\pi - 2)d_2 + (\operatorname{ch}\pi - 3 + 4\operatorname{ch}^2\pi - \operatorname{sh}^2\pi)d_1(\operatorname{sh}\pi)^{-1}; \\
 B_8 &= 3(\operatorname{ch}\pi - \operatorname{ch}^2\pi)d_2(\operatorname{sh}\pi)^{-1} + (4\operatorname{ch}\pi + 2\operatorname{sh}^2\pi - 4\operatorname{ch}^3\pi + \operatorname{sh}^2\pi\operatorname{ch}\pi)d_1(\operatorname{sh}\pi)^{-2}; \\
 \lambda_m &= Hc_m / l; k = l / H.
 \end{aligned}$$

При визначенні частоти власних коливань пластини без трикутних отворів (відомий варіант СДННО) рівняння матиме вигляд:

$$\omega^4 = \frac{D}{\rho h E_1} [E_2 + E_3 + 2\nu E_4 + 2(1 - \nu)E_5]. \tag{5.18}$$

Рівняння (5.18) отримано з рівняння (5.16), в якому відкинуто члени, що стоять під знаком суми N .

5.2.2. Розробка програми обчислень частоти власних коливань високочастотного СДННО

Отримані вирази для обчислення частоти власних коливань високочастотного СДННО є достатньо громіздким, тому для проведення обчислень виникла необхідність розробки алгоритму і програми обчислень для персонального комп'ютеру.

Деякі коефіцієнти у виразі (5.16) записані через інтеграли, які вичислюються в квадратурах, що суттєво ускладнює процес обчислень, оскільки кількість складових, через які вони записані, складає декілька сотень. Виходячи з цього, їх обчислення проводились на ПК методом трапецій [323]. Розроблена комп'ютерна програма передбачає при визначенні частоти власних коливань високочастотного СДННО з наскрізними вирізами також визначення частоти власних коливань високочастотного СДННО без вирізів і порівняння отриманих результатів.

5.2.3. Числове моделювання високочастотних СДННО

Задача числового моделювання високочастотних СДННО полягає в кількісній оцінці впливу наскрізних вирізів на зміну частоти власних коливань стабілізаторів.

В якості порівняння вибрана частота власних коливань високочастотних СДННО при відсутності вирізів, визначення якої передбачено в програмі обчислень. Відношення частот власних коливань високочастотного СДННО з вирізами і без них дає оцінку переваг або недоліків виконання наскрізних вирізів:

$$\chi = f / f_0, \quad (5.19)$$

де f, f_0 – частоти власних коливань СДННО з вирізами і без них.

При виборі форми і розмірів трикутних наскрізних вирізів ставилася задача проведення досліджень в області рівного опору пружної пластини по всій довжині вильоту. Використання консольних балок з рівним опором по всій довжині вильоту виправдано тим, що наскрізні вирізи не призводять до суттєвої втрати міцності пластин, при цьому досягається переважаюче зменшення приведеної до скала маси над приведеною до скала жорсткістю [241, 333].

Для балок з постійною товщиною рівний опір по довжині вильоту можна досягти при виконанні рівнобедрених трикутних вирізів з прямим кутом (кут розкриття) з боку закріплення балки.

На рис. 5.3 зображена монопластина 1 з трикутними вирізами 2 в виді консольної балки рівного опору по довжині вильоту. Для виконання на монопластині скала, що огинається нитками основи, передбачено, що віддаль між вільним краєм монопластини і основою трикутних вирізів досягає 10 мм. Цього достатньо для формування скала, наприклад, методом загинання вільного кінця монопластини.

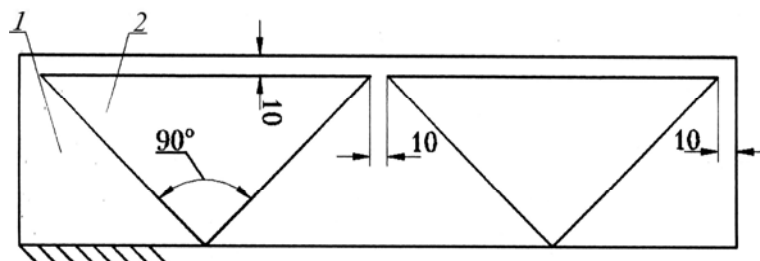


Рис. 5.3. Пружна монопластина в формі консольної балки рівного опору:
1 – пластина; 2 – наскрізний виріз

Загинання вільного кінця не враховується у математичній моделі і програмі обчислень частот власних коливань високочастотного СДННО, що дещо зменшує абсолютне значення частот, однак при порівняльній оцінці СДННО з вирізами і без них таке припущення виправдане, тому що стосується обох варіантів, і таким чином не впливає на відносне значення (5.19).

У процесі числових досліджень оцінювалось вплив “кута розкриття” трикутних вирізів на зміну частоти власних коливань СДННО. Для цього “кут розкриття” дискретно змінювався відносно значення – 90° в більшу і менші сторони. Товщина монопластин змінювалась від 0,2 до 0,8 мм з кроком 0,3 мм. Величина вильоту пластин рівна 100 мм, що характерно для сучасних ОВМ і ВПМ.

Ширина монопластин визначалась з умов виконання трьох трикутних наскрізних вирізів при віддалі між основами суміжних вирізів 10 мм. Матеріал монопластин – сплав 40КХНМ, який використовується для пружних елементів при високих вимогах до циклічної міцності [334].

Результати обчислень відношення частот власних коливань СДННО з вирізами і без них наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

**Значення відношення частот власних коливань СДННО
з вирізами і без них при різних “кутах розкриття”
і значення частот власних коливань СДННО без вирізів**

Товщина пластини, мм	“Кут розкриття” трикутних вирізів, град.					Частота власних коливань СДННО без вирізів, Гц
	0	30	60	90	120	
0,2	1	1,355	1,405	1,425	1,437	16,54
0,5	1	1,355	1,405	1,425	1,437	41,34
0,8	1	1,355	1,405	1,425	1,437	66,15

З отриманих результатів видно, що зі збільшенням “кута розкриття” трикутних вирізів частота власних коливань СДННО збільшується, при цьому:

– в області рівного опору (“кут розкриття” трикутних вирізів дорівнює 90°) збільшення частоти власних коливань СДННО за рахунок наскрізних вирізів перевищує 40 %;

– починаючи зі значення “кута розкриття” трикутних вирізів 60° , подальше його збільшення не призводить до суттєвого збільшення частоти власних коливань;

– товщина пластини не впливає на значення відношення частот власних коливань СДННО з вирізами і без них.

У процесі числових досліджень високочастотних СДННО виконана також оцінка впливу ширини смуги між вільним краєм консольної балки (монопластини) і паралельною йому основою трикутних вирізів, з якої формується скало, на частоту власних коливань СДННО. Для цього виконано обчислення значень відношення частот власних коливань СДННО з вирізами і без них при раніше використаних початкових даних, при яких забезпечується рівний опір по вільоту СДННО з вирізами, при цьому ширина смуги (пластини) для формування скала змінюється від 5 до 50 мм з кроком 5 мм, а також розглянуто випадок, коли ширина смуги дорівнює 0,1 мм (скало виконано в виді струни).

Результати обчислень частот власних коливань СДННО з вирізами і без них наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Значення відношення частот власних коливань СДННО

з вирізами і без них при різній ширині смуг для скало								
Ширина смуги для скало, мм								
0,1	5	10	15	20	25	30	40	50
1,728	1,546	1,425	1,339	1,277	1,223	1,182	1,120	1,078

З отриманих результатів видно, що значення ширини смуги для формування скала суттєво впливає на частоту власних коливань СДННО з вирізами, при цьому бажано максимально зменшити ширину смуги, з врахуванням умови забезпечення необхідної по-вздожньої жорсткості скала.

Для перевірки достовірності числового моделювання виконано цикл експериментальних досліджень.

5.3. Експериментальні дослідження високочастотних СДННО

Мета експериментальних досліджень – перевірка достовірності результатів аналітичного та числового моделювання високочастотних СДННО.

5.3.1. Методика проведення досліджень

Перевірка достовірності результатів аналітичних досліджень та числового моделювання виконана за двома параметрами – частота власних коливань високочастотних СДННО з вирізами і без них і показник χ (5.19), що відображає відношення цих частот.

Визначення частоти власних коливань проводилось за наступною схемою:

- виготовлення експериментальних зразків високочастотних пластин з трикутними наскрізними вирізами і без них;
- установка на універсальному стенді високочастотних пластин у вигляді консольних балок;
- підключення тензометричної апаратури для реєстрації згасаючих коливань консольних балок;
- запис осцилограм згасаючих коливань консольних балок;
- розшифровка осцилограм згасаючих коливань консольних балок (високочастотних СДННО).

Експериментальні зразки високочастотних пластин з трикутними вирізами і без них виготовлені з листів товщиною 0,35 мм

сплаву 40КХНМ. “Кут розкриття” трикутних вирізів дорівнює 60° , ширина – 300 мм, довжина вильоту балки – 82 мм, ширина смуги для формування скала – 12 мм.

На рис. 5.4 наведено, відповідно, варіанти установки монопластин з трикутними вирізами і без них на універсальному стенді.

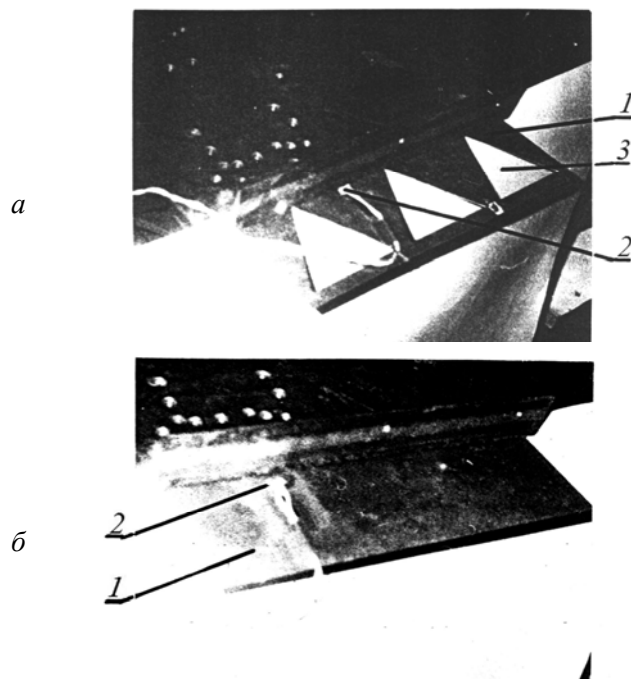


Рис. 5.4. Експериментальний зразок високочастотного СДННО:
a – з вирізами; *б* – без вирізів

Для реєстрації згасаючих коливань консольних балок на пластинках 1 наклеєні тензометричні датчики 2, які з'єднані в мостову схему і через підсилювач під'єднані до шлейфового осцилографа. На рис. 5.5 наведено, відповідно, зразки осцилограм згасаючих коливань високочастотних СДННО з вирізами і без них.

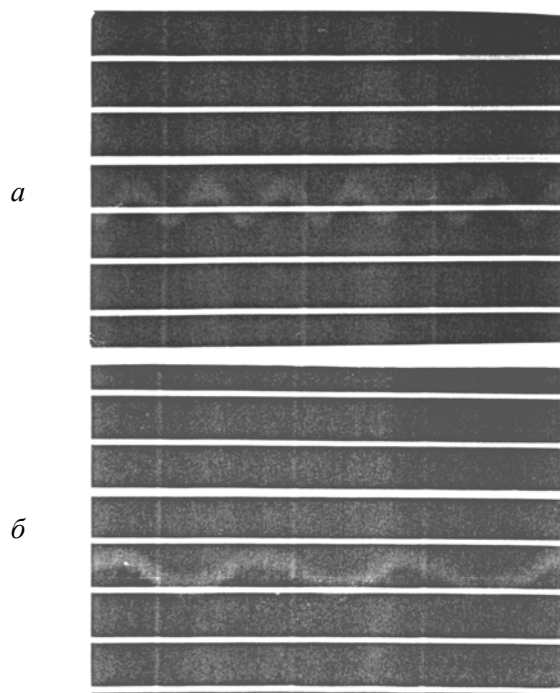


Рис. 5.5. Запис згасаючих коливань високочастотного СДННО:
a – з вирізами; *б* – без вирізів

5.3.2. Обробка результатів досліджень

Розрахунок довірчих границь значень періодів згасаючих коливань консольних балок проведено за методикою [320], з використанням малої вибірки. На першому етапі обробки осцилограм замірялась довжина абсцис згасаючих коливань, що відповідає одному періоду коливань. Число циклів коливань у вибірці вибрано таким чином, що довірчі границі вийшли значно меншими максимальних значень періодів кривих і вибрано чотирьом. Розмах варіювання для більшості значень абсцис з чотирьох замірів вийшов не більше 0,5 мм і прийнятий рівним цьому значенню. За вказаними початковими даними розраховано довірчі границі середньоарифметичних значень абсцис точок вимірювання $X = \bar{X} \pm 0,11$ мм при імовірності 0,95.

Оперуючи значеннями ординат і абсцис одного періоду згасаючих коливань, швидкістю запису осцилограм були визначені пе-

ріоди згасаючих коливань, коефіцієнти затухання, частоти власних коливань [335].

У таблиці 5.3 наведені значення частот власних коливань високочастотних СДННО з вирізами і без них, а також відносна різниця між результатами аналітичних і експериментальних досліджень.

Таблиця 5.3

**Значення частот власних коливань високочастотних СДННО
отриманих аналітичним і експериментальним методами**

Досліджуваний параметр	Метод		Відносна похибка, %
	аналітичний	експериментальний	
Частота власних коливань СДННО, Гц:			
– без вирізів	42,01	41,67	0,80
– з вирізами	54,76	53,19	2,86
Відносне збільшення частоти власних коливань	1,30	1,28	1,54

Порівняння результатів аналітичних і експериментальних досліджень показує достовірність результатів аналітичних досліджень – максимальна відносна похибка не перевищує 2,86 %, що допустимо.

Висновки

1. Запропонована концепція створення принципово нових високочастотних СДННО – виконання наскрізних фігурних вирізів (трикутних, трапецеїдальних) в пружних монопластинах відомих високочастотних СДННО.

2. Розроблена математична модель і програма обчислень частот власних коливань високочастотного СДННО з трикутними наскрізними вирізами і без них.

3. У результаті числових досліджень високочастотних СДННО встановлено, що виконання трикутних наскрізних вирізів дозволяє суттєво збільшити частоту власних коливань – порядку 40 %.

4. Результати експериментальних досліджень підтвердили достовірність аналітичних досліджень – максимальна похибка не перевищує 2,86 %.

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ВАНТАЖНИХ ССННО

Цикл експериментально-аналітичних досліджень пасивних ССННО показав, що їх можливості як ССННО обмежені. Основна причина обмеження – використання в основі конструкції пружного елемента, жорсткість якого порівняна з приведеною жорсткістю ниток основи. У відомих конструкціях вантажних ССННО текстильних машин відсутні пружні елементи, однак вони також не забезпечують високий ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи при спрацюванні навоїв та інших відхилень в подачі основи [214, 217, 265, 266]. Причина такого явища полягає в недосконалості конструкцій відомих вантажних ССННО. З аналізу математичних моделей вантажних ССННО видно, що в їх конструкціях відсутні елементи, які дозволяють в широких межах впливати на середній натяг ниток основи [266].

Із вказаного випливає, що створивши конструкцію вантажного ССННО, що здатен забезпечити широкі можливості зі зміни (формування) середнього натягу ниток основи, та використавши математичний апарат для оптимізації робочих параметрів вантажного ССННО, можна забезпечити на ВМ постійність середнього натягу ниток основи при спрацюванні навоїв та інших відхилень в подачі основи.

6.1. Вибір принципової схеми вантажного ССННО

Виходячи із конструктивних особливостей ОВМ та ВПМ, найбільш оптимальне місце встановлення вантажного ССННО знаходиться між навоєм та скалом СДННО [10, 114, 276]. Таке розташування вантажного ССННО дозволяє максимально зменшити вплив

на нього динамічної складової натягу ниток основи, яка формується в зоні петлеутворення, оскільки СДННО, розташований між зоною петлеутворення та вантажним ССННО, значно зменшує розмах коливань динамічної складової натягу ниток основи, яка поширюється від зони петлеутворення до ССННО. З іншого боку, максимальне наближення вантажного ССННО до навоїв – основного джерела відхилень у процесі подачі основи, дозволяє компенсувати ці відхилення в робочій зоні вантажного ССННО, не даючи їм поширитись до зони петлеутворення, де формується структура трикотажного полотна. З врахуванням сказаного була розроблена принципова схема вантажного ССННО [330].

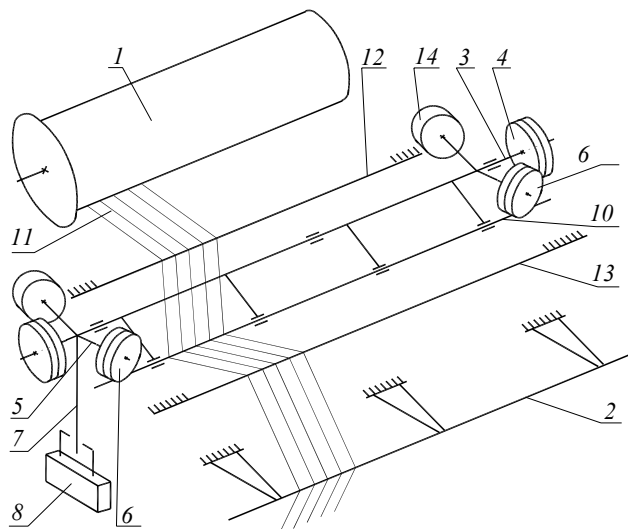
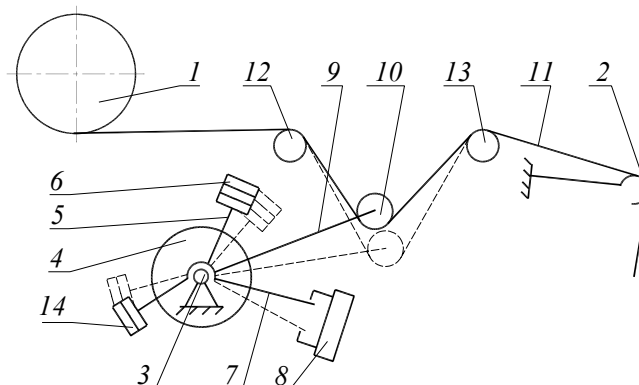


Рис. 6.1. Схема вантажного ССННО в системі заправки ВМ

На рис. 6.1 зображена принципова схема запропонованого вантажного ССННО в пружній системі заправки ОВМ. Встановлений між навоєм 1 та скалом 2 СДННО, вантажний ССННО складається з вала 3, на кінцях якого закріплено диски 4, а ближче до кінців вала закріплені важелі 5 з дисками 6 на кінцях і важіль 7, що функціонально зв'язує вал через датчик 8 з механізмом подачі ниток основи. На валу, рівномірно по всій довжині, закріплено кронштейни 9, на вільних кінцях яких, з можливістю обертатися, встановлено роликіве скало 10, що огинається нитками основи 11. Робоча (активна) зона вантажного ССННО обмежена нитконапрям-

ними балочками 12 і 13, які жорстко або з можливістю обертатися встановлені на станині в'язальної машини.

На рис. 6.2 зображена схема вантажного ССННО в двох крайніх положеннях скала 10 (суцільна і пунктирна лінії) при зміні величини подачі ниток основи з навою 1.



**Рис. 6.2. Схема вантажного ССННО
(для двох крайніх робочих положень)**

Вантажний ССННО працює наступним чином. Під час роботи ОВМ відбувається спрацювання навою 1 або інші процеси, що призводять до зміни швидкості ниткоподачі. В цьому випадку скало 10 переміщується під дією крутного моменту, який задається вагою вантажів 6, попереджуючи тим самим зміну середнього натягу ниток основи.

Зміна середнього натягу ниток основи, при переміщенні скала 10, не відбувається за трьома причинами:

1. При переміщенні скала 10 з верхнього положення (рис. 6.2, суцільна лінія) в нижнє (рис. 6.2, пунктирна лінія), через збільшення кута обхвату нитками 11 скала, чутливість їх до дії на них скала зменшується. Це означає, що якщо, наприклад, в обох положеннях (рис. 6.2) скало 10 буде діяти на нитки з однаковою за напрямом та величиною силою, натяг ниток основи 11 в верхньому положенні буде більший, ніж у нижньому.

2. При переміщенні скала 10 з верхнього положення (рис. 6.2, суцільна лінія) в нижнє (рис. 6.2, пунктирна лінія), крутний момент, який створюється закріпленими на кінцях важелів 5 вантажами 6 збільшується, що призводить до збільшення сили, яка діє

з боку скала 10 на нитки основи 11. Відповідним розташуванням нитконапрямних балочок 12 і 13 скала 10, важелів 5 з вантажами 6 можна досягнути стану, коли відмічене раніше зменшення чутливості ниток основи до дії скала 10 буде повністю компенсувати збільшення дії скала 10 на нитки основи 11.

3. Встановленням відповідної кількості вантажів 4 на кінцях вала 3 можна досягти такої динамічної характеристики (за рахунок підбору мамонта інерції) вантажного ССННО, при якій стабілізатор буде реагувати тільки на зміни середнього натягу ниток основи, залишаючись нечутливими до значно зменшеному СДННО динамічного натягу ниток основи (від 50 % та більше).

Таким чином, запропонована конструкція вантажного ССННО містить елементи, які забезпечують постійність середнього натягу ниток основи при його нечутливості до динамічної складової їх натягу. Виходячи зі сказаного, процес оптимізації конструктивних параметрів вантажного ССННО можна розділити на два етапи оптимізації конструктивних параметрів, що забезпечують:

– необхідну силову дію скала 10 на нитки основи, що формує середній натяг;

– реагування стабілізатора тільки на процеси, які спричиняють зміну середнього натягу ниток основи при нечутливості до динамічної складової їх натягу.

Для з'ясування доцільності проведення комплексу оптимізаційних робіт, бажано спочатку провести попередню оцінку можливостей запропонованої конструкції вантажного ССННО. Це викликано тим, що в конструкції ССННО, порівняно з відомими конструкціями, введені елементи, які повинні забезпечувати підтримку постійного середнього натягу ниток основи при змінах в ниткоподачі. Однак, наскільки реальні можливості цих елементів невідомо, тому попередня оцінка їх можливостей визначає не тільки доцільність проведення оптимізаційних досліджень, але й дозволить визначити основні їх напрями.

6.2. Аналітичні дослідження статичних характеристик вантажного ССННО

6.2.1. Постановка задачі дослідження

В основі роботи вантажного ССННО лежить підтримка постійного середнього натягу ниток основи при зміні величини

подачі ниток за рахунок переміщення скала та відповідної йому зміни силової дії скала на нитки основи. Аналіз проведених досліджень показав, що для сучасних ОВМ та ВПМ необхідно обмежити максимально можливі коливання ниток основи в межах 1%. У цьому випадку можливо отримати якісне трикотажне полотно. Виходячи із цього, задачею оцінювальних досліджень запропонованого ССННО є виявлення можливості за рахунок установки стабілізатора обмежити коливання середнього натягу ниток до 1% при реальних коливаннях в ниткоподачі. Чисельно коливання середнього натягу ниток визначається виразом:

$$\Delta_N = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\min}} \cdot 100 \%, \quad (6.1)$$

де T_{\max} , T_{\min} – максимальне та мінімальне значення середнього натягу ниток основи, що виникає при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше.

У сучасних ОВМ та ВПМ для скала пасивного ССННО довжина переміщення між двома крайніми положеннями становить порядку 10 мм [5]. При оцінці можливостей запропонованого вантажного ССННО, довжина переміщення скала між крайніми положеннями збільшена до 40 мм, що дасть більш об'єктивну картину його можливостей.

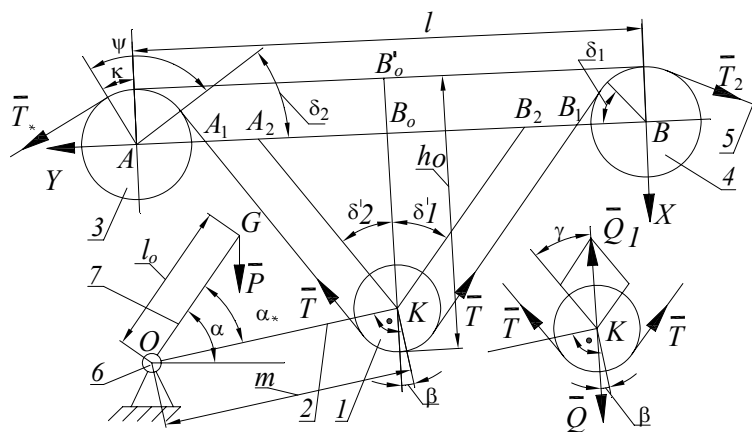


Рис. 6.3. Розрахункова схема вантажного ССННО

Розрахункова схема вантажного ССННО представлена на рис. 6.3 у вигляді плоскої моделі, що виключає всі основні елементи стабілізатора, де скало 1 , закріплене з можливістю обертатись на кронштейнах 2 , балочки 3 та 4 огинаються нитками основи 5 . На осі валу 6 закріплений вантажний важіль 7 , на кінці якого встановлено вантаж, вага якого дорівнює P .

Прийняті наступні припущення: режим роботи вантажного ССННО статичний; нитки основи знаходяться під впливом тільки пружних деформацій; вага скала та кронштейнів зрівноважена проти вагою; тертя в підшипниках стабілізатора відсутнє; нитки переміщуються по скалу без проковзування.

Останнє допущення виконується за рахунок установки скала в підшипниках з коефіцієнтом тертя, близьким до нуля. При дотриманні вказаних допущень скало вантажного ССННО може бути використано як датчик швидкості руху ниток з навою в зону петлеутворення. В цьому випадку відпадає необхідність встановлення на ОВМ та ВПМ датчиків швидкості ниток основи, що виконані у вигляді притиснутих до навою роликів [120].

На розрахунковій схемі (див. рис. 6.3) прийняті наступні позначення:

\bar{T} – вектор натягу ниток у робочій зоні стабілізатора;

\bar{T}_* – вектор натягу ниток на ділянці між вантажним ССННО

та зоною петлеутворення;

r_K, r_A, r_B – радіуси скала та нитконапрямних балочок;

l_O – довжина вантажного важеля (від осі вала до центра мас, встановлених на важелі вантажів);

m – довжина кронштейнів, на кінці яких встановлено скало стабілізатора.

Решта позначень описуються в процесі аналітичних досліджень стабілізатора. За центр системи координат обрана вісь балочки 4 . Напрямок осей системи координат представлений на розрахунковій схемі.

На початку дослідження вантажного ССННО необхідно задати вихідні дані:

T_* – необхідне значення середнього натягу ниток основи, що формується стабілізатором;

N – кількість ниток у заправці;

h_B, h_H – максимальне відхилення скала від дотичної до балочок у верхньому та нижньому положеннях;

μ – коефіцієнт тертя між нитками 5 та балочкою 3 ;

κ – кут обхвату ниткою балочки 3, що утворюється з її віссю (паралельної осі ВХ) та радіусом, що направлений в точку сходження нитки з балочки зі сторони зони петлеутворення;

r_K, r_A, r_B – радіуси скала та нитконапрямних балочок;

l_O – довжина вантажного важеля;

l_O – відстань між осями нитконапрямних балочок;

φ – кут нахилу осі Y до горизонту;

Щоб визначити натяг ниток основи в активній зоні петлеутворення складемо рівняння моментів сил відносно осі O:

$$\sum M_{i0} = 0; \quad Pl_0 \cos \alpha = Q_1 m \cos \beta = 0, \quad (6.2)$$

звідки визначимо результуючу силу реакції нитки на силову дію вантажу:

$$Q_1 = \frac{Pl_0 \cos \alpha}{m \cos \beta}. \quad (6.3)$$

Оскільки система “ССННО–нитка основи” розглядається в статичному режимі дії вантажу, а прикладена до осі скала сила Q рівна силі Q₁, то можна записати:

$$Q = 2T \cos \gamma. \quad (6.4)$$

Прирівнявши вирази (6.3) та (6.4), визначимо натяг ниток основи в робочій зоні стабілізатора:

$$T = \frac{Pl_0}{2m} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta \cdot \cos \gamma}, \quad (6.5)$$

де α – кут між горизонталлю та вантажним важелем;

γ – кут між вектором натягу ниток \vec{T} в активній зоні та вектором сумарної дії натягу ниток на скало \vec{Q}_1 ;

β – кут між перпендикуляром до кронштейна скала і вектором \vec{Q} – прикладений до скала вектор сили дії на нього ваги вантажу.

З врахуванням формули Ейлера визначимо натяг ниток основи між вантажним ССННО та зоною петлеутворення [332]:

$$T = \frac{Pl_0 e^{\mu\psi} \cos \alpha}{2m \cos \beta \cdot \cos \gamma}, \quad (6.6)$$

де ψ – кут обхвату ниткою балочки 3.

Аналіз рівняння (6.6) показує, що натяг ниток основи при переміщенні скала буде постійним у випадку якщо:

$$\beta = \text{const}; \quad e^{\mu\psi} \cos \alpha = \cos \gamma. \quad (6.7)$$

Для оцінки можливості забезпечення вантажним ССННО умов (6.7) виконаємо цикл аналітичних і числових досліджень, кінцева мета яких – отримання даних про можливості підтримання стабілізатором постійного середнього натягу ниток основи при зміні в подачі ниток.

6.2.2. Аналітичні залежності між робочими параметрами вантажного ССННО

Перше припущення $\beta = \text{const}$, як показали попередні дослідження вантажного ССННО, виконуються з деякою похибкою (порядку 0,5 %) у випадку встановлення кронштейнів для кріплення скала у вихідному (середньому) положенні $h_0 = 0,5(h_B + h_H)$ – паралельно дотичний до напрямних балочок 3 та 4 [211].

Для оцінки можливості виконання другого допущення (6.7), визначимо параметри – кути ψ , γ , α в початковому (середньому) положенні, при цьому до шуканих параметрів додано індекс “O”:

$$\psi_O = \kappa + \frac{\pi}{2} + \delta_{2O}, \quad (6.8)$$

де кут κ задається на початку досліджень, оскільки визначається конструкцією ОВМ та ВПМ, при цьому він має знак “+” якщо точка сходу нитки з нитконапрямної балочки лежить зліва від осі балочки 3, паралельної осі ВХ, та знак “-” – якщо справа.

Визначимо кути δ_{1O} та δ_{2O} з урахуванням того, що початкові координати осі скала (т. К) рівні:

$$\begin{cases} x_{KO} = h_0 - \frac{r_A + r_B}{2} - r_K; \\ y_{KO} = \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (6.9)$$

Для визначення δ_{1O} та δ_{2O} зробимо ряд допоміжних обчислень:

$$B_1B = \frac{r_B}{\cos \delta_{1O}}; \quad (6.10)$$

$$B_2 B_1 = \frac{r_K}{\cos \delta_{2O}}; \quad (6.11)$$

$$B_O B_2 = B_O B - B_1 B - B_2 B_1 = y_K - \frac{r_B + r_K}{\cos \delta_{1O}}. \quad (6.12)$$

З трикутника $\Delta B_O K B_2$ визначимо:

$$\operatorname{tg} \delta_{1O} = \frac{B_O B_2}{B_O B_K} \quad (6.13)$$

або з врахуванням (6.9) та (6.12) запишемо:

$$\operatorname{tg} \delta_{1O} = \frac{y_0 - \frac{r_B + r_K}{\cos \delta_{1O}}}{x_{K_O}}, \quad (6.14)$$

Зробивши ряд перетворень у рівнянні (6.14), отримаємо:

$$y_{K_O} \cos \delta_{1O} - r_B - r_K = x_{K_O} \sqrt{1 - \cos^2 \delta_{1O}}. \quad (6.15)$$

Піднесемо праву та ліву частини рівняння (6.15) до квадрату та вирішимо рівняння відносно $\cos \delta_{1O}$:

$$(\cos \delta_{1O})_{1,2} = \frac{(r_B + r_K) y_{K_O} \pm x_{K_O} \sqrt{x_{K_O}^2 + y_{K_O}^2 - (r_B + r_K)^2}}{x_{K_O}^2 + y_{K_O}^2}. \quad (6.16)$$

Одне з рішень (6.16) повинно задовольнити умови:

$$0 < \cos \delta_{1O} < 1; \quad 0 < \delta_{1O} < \frac{\pi}{2}. \quad (6.17)$$

Аналогічно визначимо для $\cos \delta_{2O}$:

$$(\cos \delta_{2O})_{1,2} = \frac{(r_A + r_K)(1 - y_{K_O}) \pm x_{K_O} \sqrt{x_{K_O}^2 + (1 - y_{K_O})^2 - (r_A + r_K)^2}}{x_{K_O}^2 + (1 - y_{K_O})^2}. \quad (6.18)$$

При виборі δ_{2O} початковою умовою:

$$0 < \cos \delta_{2O} < 1; \quad 0 < \delta_{2O} < \frac{\pi}{2}. \quad (6.19)$$

Знаючи кути δ_{1O} та δ_{2O} визначимо кут згину нитки на скалу:

$$\gamma_O = \frac{1}{2}(\delta_{1O} + \delta_{2O}). \quad (6.20)$$

Кут α_* між кронштейном 2 та важелем 7 дорівнює:

$$\alpha_* = \gamma_O \pm \varphi = \frac{\delta_{1O} - \delta_{2O}}{2} \pm \varphi, \quad (6.21)$$

де φ – кут нахилу лінії AB (осі BY) до горизонту, при цьому знак “+” приймається в тому випадку, коли точка A знаходиться вище точки B , а знак “-” навпаки, коли точка B вище точки A .

Визначимо кут β_O в початковому положенні скала:

$$\beta_O = |\gamma_O - \delta_{1O}| = |\gamma_O - \delta_{2O}| = \frac{1}{2}|\delta_{1O} - \delta_{2O}|. \quad (6.22)$$

Визначимо кут γ в крайньому верхньому (індекс “ B ”) та крайньому нижньому (індекс “ H ”) положеннях. Для цього спочатку запишемо значення кутів δ_1 та δ_2 в крайніх положеннях, використавши для цього вирази (6.16) та (6.18). Для зменшення кількості виразів, координати скала в крайніх положеннях позначимо як x_{K_i} та y_{K_i} , враховуючи, що при визначенні δ_{1H} , δ_{2H} вони приймуть значення x_{KH} , y_{KH} , а при визначенні δ_{1B} , δ_{2B} – x_{KB} , y_{KB} :

$$\left(\cos \begin{Bmatrix} \delta_{1B} \\ \delta_{1H} \end{Bmatrix} \right)_{1,2} = \frac{(r_B + r_K)y_{K_i} \pm x_{K_i} \sqrt{x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - (r_B + r_K)^2}}{x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2}. \quad (6.23)$$

$$\left(\cos \begin{Bmatrix} \delta_{2B} \\ \delta_{2H} \end{Bmatrix} \right)_{1,2} = \frac{(r_A + r_K)(1 - y_{K_i}) \pm x_{K_i} \sqrt{x_{K_i}^2 + (1 - y_{K_i})^2 - (r_A + r_K)^2}}{x_{K_i}^2 + (1 - y_{K_i})^2}. \quad (6.24)$$

$$\text{де } x_{KB} = h_B - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2} = h_O - \Delta h - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2}; \quad (6.25)$$

$$x_{KH} = h_H - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2} = h_O - \Delta h - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2}; \quad (6.26)$$

$$y_{KH} = y_{KB} = \frac{1}{2}; \quad (6.27)$$

$$\Delta h = h_H - h_O = h_O - h_B. \quad (6.28)$$

Під час розв'язування рівнянь (6.23) та (6.24) повинні виконуватись наперед задані умови (6.17) та (6.19).

Отримавши значення δ_{1B} , δ_{1H} , δ_{2B} , δ_{2H} , визначимо кути γ та ψ в крайньому верхньому та нижньому положеннях:

$$\gamma_B = \frac{1}{2}(\delta_{1B} + \delta_{2B}); \quad (6.29)$$

$$\gamma_H = \frac{1}{2}(\delta_{1H} + \delta_{2H}); \quad (6.30)$$

$$\psi_B = \kappa + \frac{\pi}{2} - \delta_{2B}; \quad (6.31)$$

$$\psi_H = \kappa + \frac{\pi}{2} - \delta_{2H}; \quad (6.32)$$

Кут α в крайньому верхньому та нижньому положеннях визначимо із залежностей, що забезпечують постійність натягу T_* в цих положеннях:

$$\cos \alpha_H = e^{\mu(\psi_O - \psi_H)} \cos \gamma_H; \quad (6.33)$$

$$\cos \alpha_B = e^{\mu(\psi_O - \psi_B)} \cos \gamma_B. \quad (6.34)$$

З виразів (6.33) та (6.34) визначимо спочатку α_B та α_H , а різниця між ними дасть значення зміни кута α , що забезпечує постійність натягу ниток між вантажним ССННО та зоною петлетворення при переміщенні скала з крайнього верхнього в крайнє нижнє положення:

$$\Delta\alpha = \alpha_B - \alpha_H. \quad (6.35)$$

Аналіз розрахункової схеми (див. рис. 6.3) вантажного ССННО показує, що забезпечити визначену зміну (6.35) кута α при переміщенні скала з крайнього верхнього положення в крайнє нижнє і навпаки, можна за рахунок підбору відповідної довжини m кронштейна OK . Для цього використаємо залежність, що зв'язує довжину кронштейна m , величину переміщення Δh скала від початкового (середнього) положення в одне з крайніх, та відповідна цьому переміщенню зміна кута $\alpha - \Delta\alpha/2$. Оскільки для отримання вказаної залежності, через переміщення скала по колу та малу відстань, можна використати значення $\sin\Delta\alpha/2$ та $\text{tg}\Delta\alpha/2$, розглянемо два рівняння, при цьому для першого використаємо індекс "1" при визначенні m , а для другого – "2":

$$\frac{\Delta h}{m_1} = \sin \frac{|\Delta\alpha|}{2}, \text{ звідки } m_1 = \frac{\Delta h}{\sin \frac{|\Delta\alpha|}{2}}; \quad (6.36)$$

$$\frac{\Delta h}{m_2} = \operatorname{tg} \frac{|\Delta\alpha|}{2}, \text{ звідки } m_2 = \frac{\Delta h}{\operatorname{tg} \frac{|\Delta\alpha|}{2}}. \quad (6.37)$$

Маючи значення довжини кронштейна OK (m_1 або m_2), визначимо координати (x_O, y_O) вала, а також його осі O , при цьому можна виділити дев'ять варіантів координат y_O , а саме:

$$y_O = \begin{cases} \frac{l}{2} + m_1 \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}, (m = m_1); \\ \frac{l}{2} + m_1, (m = m_1); \\ \frac{l}{2} + \frac{m_1}{2} (1 + \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}), (m = m_1); \\ \frac{l}{2} + m_2 \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}, (m = m_2); \\ \frac{l}{2} + m_2, (m = m_2); \\ \frac{l}{2} + \frac{m_2}{2} (1 + \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}), (m = m_2); \\ \frac{l}{2} + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}, [m = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)]; \\ \frac{l}{2} + \frac{1}{2} (m_1 + m_2), [m = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)]; \\ \frac{l}{2} + \frac{1}{4} (m_1 + m_2) (1 + \cos \frac{|\Delta\alpha|}{2}), [m = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)]. \end{cases} \quad (6.38)$$

Для всіх дев'ятьох варіантів:

$$x_O = h_O - \frac{1}{2} (r_A + r_B + 2r_K). \quad (6.39)$$

Таким чином отримані аналітичні залежності, які дозволяють визначити допустимі параметри вантажного ССННО. Для кількісної оцінки можливостей вантажного ССННО визначимо залежності для знаходження поточних значень натягу нитки під час руху скала з одного крайнього положення в інше. Координати осі скала (т. K) позначимо через x_K та y_K , а зміну кута α від початкового положення через $\Delta\alpha_K$. Поточне відхилення нитки від точки B_O позначимо через h_K , після чого запишемо:

$$\sin \Delta\alpha_K = \frac{h_K - h_*}{m}; \quad (6.40)$$

$$\cos \Delta\alpha_K = \frac{1}{m} \sqrt{m^2 - (h_K - h_*)^2}, \quad (6.41)$$

де
$$h_* = x_O + \frac{r_A + r_B + 2r_K}{2}. \quad (6.42)$$

Потім визначимо:

$$y_K = y_O - m \cos \Delta\alpha_K = y_O - \sqrt{m^2 - (h_K - h_*)^2}; \quad (6.43)$$

$$x_K = h_K - r_K - \frac{\left[l - y_O + \sqrt{m^2 - (h_K - h_*)^2} \right] r_B + \left[y_O - \sqrt{m^2 - (h_K - h_*)^2} \right] r_A}{l}. \quad (6.44)$$

Для визначення кутів δ_{1K} та δ_{2K} використаємо вирази (6.23) та (6.24), в яких x_K та y_K знайдені за формулами (6.43) та (6.44).

Знаючи кути δ_{1K} та δ_{2K} , визначимо:

$$\gamma_K = \frac{1}{2} (\delta_{1K} + \delta_{2K}). \quad (6.45)$$

Кут β_K між бісектрисою кута обхвату ниткою скала та перпендикуляром до кронштейна m визначимо за формулою:

$$\beta_K = \begin{cases} \frac{1}{2} |\delta_{2K} - \delta_{1K}| + \arcsin \frac{h_K - h_*}{m}, & \text{при } y_K < \frac{1}{2}; \\ \frac{1}{2} |\delta_{2K} - \delta_{1K}| - \arcsin \frac{h_K - h_*}{m}, & \text{при } y_K > \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (6.46)$$

Відповідно визначимо:

$$\alpha_K = \gamma_O - \arcsin \frac{h_K - h_*}{m}. \quad (6.47)$$

Маючи значення кутів γ_K , β_K та α_K , визначимо натяг ниток у будь-якому з положень скала між його крайніми положеннями:

$$T_K = \frac{Pl_o}{2mN} \frac{e^{\mu\psi} \cos \alpha_K}{\cos \beta_K \cdot \cos \gamma_K}, \quad (6.48)$$

де N – кількість ниток в заправці; N – вага вантажу.

Наближене значення ваги вантажу визначаємо з рівняння (6.6), коли скало знаходиться в початковому положенні ($\beta_O = 0$, $\alpha_O = 0$):

$$P = \frac{2mT_O N}{l_o e^{\mu\psi}}. \quad (6.49)$$

Маючи поточні значення натягу ниток основи T_{Ki} , за формулою (6.1) можна визначити максимальне коливання натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше, що дає можливість оцінити можливості запропонованого ССННО. Використовуючи отримані аналітичні залежності, розроблено алгоритм числових досліджень вантажного ССННО.

На основі алгоритму обчислень розроблена програма обчислень для ПЕВМ.

6.2.3. Числові дослідження можливостей вантажних ССННО

Для отримання вихідних даних, при числових дослідженнях вантажного ССННО, використані параметри ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2”, де нитки беруть участь у технологічному процесі в якості основи. Місце розташування вантажних ССННО для верхньої та нижньої основ, як відмічалось раніше, вибрано між навоєм та скалом СДННО. За алгоритмом числових досліджень вантажного ССННО, вихідними даними при його встановленні на верхній основі є:

- натяг однієї нитки між вантажним ССННО та зоною петлеутворення $T_* = 10$ сН;
- кількість ниток основи в заправці, $N = 2500$;
- радіуси нитконапрямних балочок скала: $r_A = 10$ мм; $r_K = 10$ мм;
- кут нахилу осі Y до горизонту, $\varphi = 20^\circ$;
- довжина вантажного важеля, $l_o = 150$ мм;

- відстань між осями нитконапрямних балочок (взято чотири значення: $l_1 = 200$ мм; $l_2 = 250$ мм; $l_3 = 300$ мм; $l_4 = 350$ мм);
 - відхилення скала від дотичної до балочок в крайньому верхньому та нижньому положенні (взято по три значення: $h_{B_1} = 50$ мм; $h_{H_1} = 90$ мм; $h_{B_2} = 100$ мм; $h_{H_2} = 140$ мм; $h_{B_3} = 150$ мм; $h_{H_3} = 190$ мм);
 - кут обхвату ниткою основи балочки 3, утворений між її віссю (направленої осі BX) та радіусом, направлено в точку схождения ниток з балочки зі сторони зони петлеутворення, $\kappa = 10^\circ$;
 - коефіцієнт тертя між нитками основи та балочкою 3, $\mu = 0,15$;
 - кількість точок, в яких визначається натяг ниток, $I = 10$.
- При встановленні вантажного ССННО на нижній основі змінено декілька вихідних даних, а саме:
- кут нахилу осі Y до горизонту $\varphi = 10^\circ$;
 - кут $\kappa = 20^\circ$;

Використовуючи розроблену програму, отримані розрахункові дані, на основі яких визначено значення показника відносного коливання середнього натягу ниток основи ξ (%) та довжини кронштейна кріплення скала m (%) вантажного ССННО для верхньої та нижньої основи відповідно (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Значення показника відносного коливання середнього натягу ниток основи та довжини кронштейна кріплення скала

Відхилення скала від дотичної до балочок у крайньому верхньому та нижньому положенні, мм	Відстань між осями нитконапрямних балочок, мм			
	200	250	300	350
Встановлення ССННО на верхній основі				
50	3,78/155,7	3,14/168,3	2,37/187,1	2,1/204,9
100	1,17/287,4	1,27/267,2	1,24/266,4	1,14/274,7
150	0,38/542,6	0,504/443,7	0,58/402,2	0,61/385,6
Встановлення ССННО на нижній основі				
50	3,86/153,4	3,15/168,3	2,56/187,14	2,1/207,9
100	1,18/287,2	1,27/267,2	1,23/266,4	1,14/274,65
150	0,38/542,4	0,51/433,7	0,58/402,2	0,61/385,6

Аналіз отриманих результатів – значення показника ξ , довжина кронштейнів для кріплення скала m та кут α^* , дозволяють сформулювати наступні висновки:

1. Запропонована конструкція вантажного ССННО, при його встановленні на ВМ, зокрема на ОВМ типу “Кокетт”, забезпечує підтримання постійного середнього натягу ниток основи (при відносних коливаннях не більше 1 %) при відхиленнях в ниткоподачі, що викликають переміщення скала на величину порядку 40 мм.

2. Запропонована конструкція вантажного ССННО має достатній запас можливостей для підвищення ефективності стабілізації середнього натягу ниток основи за рахунок оптимізації параметрів силової дії скала на нитки основи.

3. При оптимізації параметрів силової дії скала на нитки основи необхідно зменшити довжину кронштейнів для кріплення скала, оскільки отримані внаслідок попередніх досліджень значення довжини кронштейнів, порядку 250–300 мм, обмежують можливість встановлення вантажного ССННО на відомих ОВМ та ВПМ.

6.3. Оптимізація параметрів силової дії вантажного ССННО на нитки основи

6.3.1. Постановка задачі оптимізації

При постановці задачі оптимізації робочих параметрів силової дії вантажного ССННО на нитки основи використовуємо критерії, вихідні дані та припущення, що прийняті при постановці задачі дослідження можливостей вантажного ССННО. Так, в якості критерію ефективності роботи вантажного ССННО використано показник відносного коливання середнього натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше (максимальна величина переміщення – 40 мм). Довжина кронштейнів для кріплення скала обмежується в процесі оптимізації при заданій області встановлення вала b (див. рис. 6.3).

На рис. 6.4 зображена розрахункова схема, на якій ряд позначень, а саме $\bar{T}_1, \bar{T}, r_K, r_B, r_A, l_O, \psi, \kappa, \alpha, \beta, \gamma, \delta_1, \delta_2, \alpha^*, \bar{P}, m$ відповідають позначенням розрахункової схеми, зображеної на рис. 6.3, при цьому введені нові позначення: x_L, x_P, y_L, y_P – координати точок L та P , що задають область встановлення вала для кріплення кронштейнів скала. Решта позначень описані в процесі визначення аналітичних залежностей.

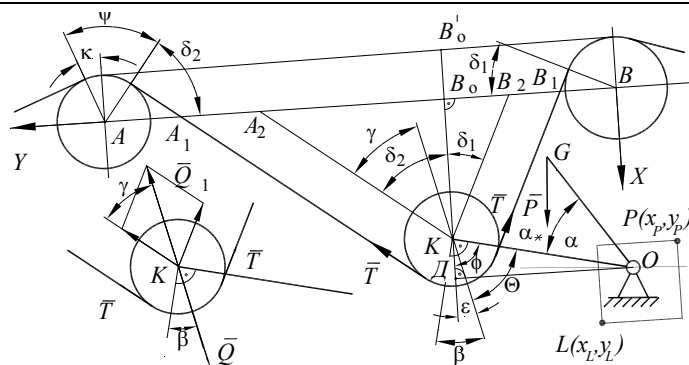


Рис. 6.4. Розрахункова схема вантажного ССННО

Для представленої розрахункової схеми (див. рис. 6.4), вирази середнього натягу ниток основи на ділянці “зона петлеутворення–скало ССННО” відповідає раніше отриманому рівнянню (6.6):

$$T = \frac{Pl_0 e^{\mu\psi} \cos \alpha}{2mN \cos \beta \cos \gamma}. \quad (6.50)$$

З виразу (6.50) випливає, що для забезпечення постійності середнього натягу ниток основи необхідно добитися співвідношення:

$$\frac{e^{\mu\psi} \cos \alpha}{\cos \beta \cos \gamma} = \text{const} = c_C. \quad (6.51)$$

Для спрощення виразу (6.51) приймаємо $c_C = 1$, отримаємо:

$$e^{\mu\psi} \cos \alpha = \cos \beta \cos \gamma. \quad (6.52)$$

У процесі оптимізації робочих параметрів силової дії вантажного ССННО на нитки основи, будемо забезпечувати виконання рівності (6.52) в крайньому верхньому та крайньому нижньому положеннях скала, з перевіркою значень середнього натягу ниток на всій ділянці руху скала з одного крайнього положення в інше.

6.3.2. Аналітичні залежності між робочими параметрами вантажного ССННО

В основу визначення аналітичних залежностей покладено виконання рівняння (6.52) в крайніх верхньому та нижньому положеннях скала. Кути δ_1 та δ_2 в крайніх положеннях скала для роз-

рахункової схеми (рис. 6.4) визначимо аналогічно, як для розрахункової схеми на рис. 6.3, використовуючи вирази (6.23) та (6.24) з раніше визначеними умовами (6.17), (6.19).

Задавшись значенням y_{KB} (ордината осі скала в крайньому верхньому його положенні), визначимо абсцису осі скала в крайньому верхньому положенні:

$$x_{KB} = h_B - r_K - B_O B' = h_B - r_K - \frac{r_A y_{KB} + r_B (1 - y_{KB})}{l}. \quad (6.53)$$

Знаючи кути δ_{1B} та δ_{2B} , визначимо кути γ_B та ε_B :

$$\gamma_B = \frac{1}{2}(\delta_{1B} + \delta_{2B}); \quad (6.54)$$

$$\varepsilon_B = \delta_{2B} - \frac{\delta_{1B} + \delta_{2B}}{2} = \frac{1}{2}|\delta_{2B} - \delta_{1B}|. \quad (6.55)$$

З трикутника DKO визначимо кут $\varphi = \angle DKO$:

$$\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{DO}{DK}. \quad (6.56)$$

Залежно від співвідношення координат точок O та K існує декілька варіантів при визначенні кута φ_B :

$$\varphi_B = \begin{cases} \operatorname{arctg} \frac{(y_{KB} - y_O)}{(x_O - x_{KB})}, & y_O < y_{KB}, x_O > x_{KB}; \\ \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{(x_{KB} - x_O)}{(y_{KB} - y_O)}, & y_O < y_{KB}, x_O < x_{KB}; \\ \operatorname{arctg} \frac{(y_O - y_{KB})}{(x_O - x_{KB})}, & y_O > y_{KB}, x_O > x_{KB}; \\ \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{(x_{KB} - x_O)}{(y_O - y_{KB})}, & y_O > y_{KB}, x_O < x_{KB}; \\ 0, & y_O = y_{KB}, x_O \neq x_{KB}; \\ \frac{\pi}{2}, & y_O \neq y_{KB}, x_O = x_{KB}. \end{cases} \quad (6.57)$$

Знаючи кут φ_B , визначимо кути θ_B та β_B :

$$\theta_B = \begin{cases} \varphi_B - \varepsilon_B, & y_{KB} > y_O; \\ \varphi_B + \varepsilon_B, & y_{KB} < y_O. \end{cases} \quad (6.58)$$

$$\beta_B = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_B, & \theta_B \leq \frac{\pi}{2}; \\ \theta_B - \frac{\pi}{2}, & \theta_B > \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (6.59)$$

Для знаходження кутів γ_H , ε_H , φ_H , θ_H , β_H визначимо довжину кронштейна для кріплення скала m , враховуючи, що нам відомі x_O , y_O , x_{KB} , y_{KB} . Довжину кронштейна визначимо з трикутника KDO :

$$m = \sqrt{(DK)^2 + (DO)^2} = \sqrt{(x_O - x_{KB})^2 + (y_O - y_{KB})^2}. \quad (6.60)$$

Враховуючи, що довжина відрізка $B_O B'_O$ при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше практично не змінюється, визначимо в нульовому наближенні:

$$(x_{KH})_O = h_H - r_K - B_O B'_O = h_H - r_K - \frac{r_A y_{KB} + r_B (1 - y_{KB})}{l}. \quad (6.61)$$

З трикутника DKO визначимо послідовно:

$$DO = \sqrt{(OK)^2 - (DK)^2} = \sqrt{m^2 - (x_O - x_{KH})^2}, \quad (6.62)$$

$$(y_{KH})_O = \begin{cases} y_O + \sqrt{m^2 - (x_O - x_{KH})^2}, & y_{KB} > y_O; \\ y_O - \sqrt{m^2 - (x_O - x_{KH})^2}, & y_{KB} < y_O. \end{cases} \quad (6.63)$$

Після знаходження в нульовому наближенні $(x_{KH})_O$ та $(y_{KH})_O$, уточнимо їх значення, використовуючи метод ітерації:

$$(x_{KH})_i = h_H - r_K - \frac{r_A (y_{KH})_{i-1} + r_B (1 - (y_{KH})_{i-1})}{l}; \quad (6.64)$$

$$(y_{KH})_i = \begin{cases} y_O + \sqrt{m^2 - (x_O - (x_{KH})_i)^2}, & (y_{KB})_{i-1} > y_O; \\ y_O - \sqrt{m^2 - (x_O - (x_{KH})_i)^2}, & (y_{KB})_{i-1} < y_O. \end{cases} \quad (6.65)$$

Для практичних цілей достатньо точності 0,1 %, коли:

$$\left| (y_{K_H})_i - (y_{K_H})_{i-1} \right| < 0,001 \left| (y_{K_H})_i \right|; \quad (6.66)$$

$$\left| (x_{K_H})_i - (x_{K_H})_{i-1} \right| < 0,001 \left| (x_{K_H})_i \right|. \quad (6.67)$$

Визначення кутів γ_H , ε_H , φ_H , θ_H , β_H виконаємо аналогічно їх визначенню в крайньому верхньому положенні:

$$\gamma_H = \frac{1}{2} (\delta_{1_H} + \delta_{2_H}); \quad (6.68)$$

$$\varepsilon_H = \frac{1}{2} \left| (\delta_{2_H} - \delta_{1_H}) \right|. \quad (6.69)$$

$$\varphi_H = \begin{cases} \arctg \frac{(y_{K_H} - y_O)}{(x_O - x_{K_H})}, & y_O < y_{K_H}, x_O > x_{K_H}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{(x_{K_H} - x_O)}{(y_{K_H} - y_O)}, & y_O < y_{K_H}, x_O < x_{K_H}; \\ \arctg \frac{(y_O - y_{K_H})}{(x_O - x_{K_H})}, & y_O > y_{K_H}, x_O > x_{K_H}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{(x_{K_H} - x_O)}{(y_O - y_{K_H})}, & y_O > y_{K_H}, x_O < x_{K_H}; \\ 0, & y_O = y_{K_H}, x_O \neq x_{K_H}; \\ \frac{\pi}{2}, & y_O \neq y_{K_H}, x_O = x_{K_H}; \end{cases} \quad (6.70)$$

$$\theta_H = \begin{cases} \varphi_H - \varepsilon_H, & y_{K_H} > y_O; \\ \varphi_H + \varepsilon_H, & y_{K_H} < y_O. \end{cases} \quad (6.71)$$

$$\beta_H = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_H, & \theta_H \leq \frac{\pi}{2}; \\ \theta_H - \frac{\pi}{2}, & \theta_H > \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (6.72)$$

Визначимо кут $\Delta\alpha$, на який повернеться кронштейн для кріплення скала, а з ним і вантажний важіль:

$$\Delta\alpha = \varphi_H - \varphi_B. \quad (6.73)$$

Виходячи з того, що в крайніх положеннях скала повинна виконуватись умова (6.51), запишемо:

$$\frac{e^{\mu\psi_B} \cos \alpha_B}{\cos \beta_B \cos \gamma_B} = \frac{e^{\mu\psi_H} \cos \alpha_H}{\cos \beta_H \cos \gamma_H} = \text{const} = c_C, \quad (6.74)$$

де

$$\psi_B = \kappa + \frac{\pi}{2} - \delta_{2B}, \quad (6.75)$$

$$\psi_H = \kappa + \frac{\pi}{2} - \delta_{2H}. \quad (6.76)$$

Рівняння (6.74) перетворимо:

$$\frac{\cos \alpha_H}{\cos \alpha_B} = \frac{e^{\mu\psi_B} \cos \beta_H \cos \gamma_H}{e^{\mu\psi_H} \cos \beta_B \cos \gamma_B} = \text{const} = c_{H/B}. \quad (6.77)$$

Враховуючи, що $\alpha_H = \alpha_B + \Delta\alpha$ запишемо:

$$\cos(\alpha_B + \Delta\alpha) = c \cos \alpha_B. \quad (6.78)$$

Розв'язуючи рівняння (6.78) відносно $\cos \alpha_B$, з урахуванням (6.77) та (6.73), отримаємо:

$$\cos \alpha_B = \frac{\sin \Delta\alpha}{\sqrt{\sin^2 \Delta\alpha + (c - \cos \Delta\alpha)^2}}. \quad (6.79)$$

З виразу (6.79) визначимо кут α_B :

$$\alpha_B = \arccos \left(\frac{\sin \Delta\alpha}{\sqrt{\sin^2 \Delta\alpha + (c - \cos \Delta\alpha)^2}} \right). \quad (6.80)$$

Таким чином, визначено значення кутів α_B (6.80) та $\alpha_H = \alpha_B + \Delta\alpha$, що забезпечують постійне значення натягу ниток у крайніх положеннях скала.

При русі скала з одного крайнього положення в інше, в яких натяг ниток основи постійний, скало проходить середнє положення, в якому найбільш ймовірна його зміна. Для оцінки вели-

чини можливої зміни натягу ниток в середньому положенні скала визначимо значення кутів α , β , γ в цьому положенні (всім параметрам у середньому положенні присвоєно індекс “ O ”):

$$\alpha_O = \frac{\alpha_B - \alpha_H}{2} = \alpha_B + \frac{\Delta\alpha}{2}; \quad (6.81)$$

$$\beta_O = \frac{\beta_B - \beta_H}{2}; \quad (6.82)$$

$$\gamma_O = \frac{\gamma_B - \gamma_H}{2}. \quad (6.83)$$

Для середнього положення скала запишемо умову (6.51):

$$\frac{e^{\mu\psi_O} \cos(0,5(\alpha_H + \alpha_B))}{\cos(0,5(\beta_H + \beta_B))\cos(0,5(\gamma_H + \gamma_B))} = c_O. \quad (6.84)$$

Маючи значення $c_{H/B}$, c_O можна оцінити коливання натягу ниток основи при русі скала через середнє положення з одного крайнього положення в інше:

$$\delta = 2 \frac{|c_O - c_{H/B}|}{c_O + c_{H/B}} \cdot 100 \%. \quad (6.85)$$

Поставивши задачу так, щоб $\delta = \delta_{\min}$, методом підбору визначимо координати точки $O(x_O, y_O)$, при яких коливання натягу ниток основи при русі скала з одного крайнього положення в інше будуть мінімальними.

Кут α_* між важелем для кріплення вантажу та кронштейном для кріплення скала визначимо як середньоарифметичне його значення в крайньому верхньому та крайньому нижньому положеннях:

$$\alpha_* = \begin{cases} \alpha + \frac{1}{2}(\varphi_H + \varphi_B - \pi) \pm \varphi_*, & y_O < y; \\ \alpha + \frac{1}{2}(\varphi_H + \varphi_B - \pi) \mp \varphi_*, & y_O > y, \end{cases} \quad (6.86)$$

де

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1 - \cos^2\left(\frac{1}{2}(\beta_H + \beta_B)\right) \cos^2\left(\frac{1}{2}(\gamma_H + \gamma_B)\right) e^{-\mu(\psi_H + \psi_B)}}{\cos^2\left(\frac{1}{2}(\beta_H + \beta_B)\right) \cos^2\left(\frac{1}{2}(\gamma_H + \gamma_B)\right) e^{-0,5\mu(\psi_H + \psi_B)}}. \quad (6.87)$$

Верхній знак у формулах (6.86) перед φ_* береться, коли точка A нижче точки B відносно горизонталі; якщо ж точка A вище точки B – то нижній знак.

Виходячи з потрібного натягу ниток основи T між ССННО та зоною петлеутворення, визначимо необхідну вагу вантажу P :

$$P = 2mNT \frac{\cos(0,5(\beta_H + \beta_B)) \cos(0,5(\gamma_H + \gamma_B))}{l_O e^{0,5\mu(\psi_H + \psi_B)} \cos \alpha} - 0,5l_O S_P \rho_P, \quad (6.88)$$

де S_P – площа поперечного перерізу важеля l_O ;

ρ_P – питома вага матеріалу важеля l_O .

Задавшись кількістю точок I , в яких визначається поточне значення натягу ниток при русі скала з одного крайнього положення в інше, визначимо крок Δh розміщення точок замірів по висоті:

$$\Delta h = \frac{1}{I} (h_H - h_B). \quad (6.89)$$

Прийнявши $x_{K_1} = x_{KB}$, визначимо:

$$x_{K_i} = x_{K_{i-1}} + \Delta h, \quad (6.90)$$

$$y_{K_i} = \begin{cases} y_O + \sqrt{m^2 - (x_O - x_{K_i})^2}, & y_K > y_O; \\ y_O - \sqrt{m^2 - (x_O - x_{K_i})^2}, & y_K < y_O. \end{cases} \quad (6.91)$$

$$h_i = h_B + (i - 1)\Delta h. \quad (6.92)$$

За формулами (6.23) та (6.24), із заздалегідь визначеними умовами (6.17) і (6.19), знайдемо δ_{1i} та δ_{2i} .

Після визначення δ_{1i} та δ_{2i} визначимо поточні значення решти кутів:

$$\gamma_i = \frac{1}{2} (\delta_{1i} + \delta_{2i}); \quad (6.93)$$

$$\psi_i = \frac{\pi}{2} + \kappa - \delta_{2i}; \quad (6.94)$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2} |(\delta_{2i} - \delta_{1i})|. \quad (6.95)$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \arctg \frac{(y_{K_i} - y_O)}{(x_O - x_{K_i})}, & y_O < y_{K_i}, x_O > x_{K_i}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{(x_{K_i} - x_O)}{(y_{K_i} - y_O)}, & y_O < y_{K_i}, x_O < x_{K_i}; \\ \arctg \frac{(y_O - y_{K_i})}{(x_O - x_{K_i})}, & y_O > y_{K_i}, x_O > x_{K_i}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{(x_{K_i} - x_O)}{(y_O - y_{K_i})}, & y_O > y_{K_i}, x_O < x_{K_i}; \\ 0, & y_O = y_{K_i}, x_O \neq x_{K_i}; \\ \frac{\pi}{2}, & y_O \neq y_{K_i}, x_O = x_{K_i}; \end{cases} \quad (6.96)$$

$$\theta_i = \begin{cases} \varphi_i - \varepsilon_i, & y_{K_i} > y_O; \\ \varphi_i + \varepsilon_i, & y_{K_i} < y_O. \end{cases} \quad (6.97)$$

$$\beta_i = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_i, & \theta_i \leq \frac{\pi}{2}; \\ \theta_i - \frac{\pi}{2}, & \theta_i > \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (6.98)$$

$$\alpha_i = \begin{cases} \alpha_* + \frac{\pi}{2} - \varphi_i \mp \varphi_*, & y_O < y; \\ \alpha_* + \frac{\pi}{2} - \varphi_i \pm \varphi_*, & y_O > y. \end{cases} \quad (6.99)$$

Знак перед φ_* береться аналогічно, як для виразу (6.86).

Визначимо натяг ниток основи в i -му положенні скала:

$$T_i = \frac{(2P + l_O S_P \rho_P) l_O e^{\mu \psi_i} \cos \alpha_i}{4mN \cos \beta_i \cdot \cos \gamma_i}. \quad (6.100)$$

Знаючи натяг в кожному i -му положенні скала, за формулою (6.1) визначаємо максимальний розмах коливань натягу ниток основи.

Використовуючи отримані аналітичні залежності розроблено алгоритм програми оптимізації параметрів вантажного ССННО, на основі якого розроблена програма обчислення для ПЕОМ.

6.4. Динамічні дослідження вантажних ССННО

6.4.1. Дослідження вантажних ССННО

у режимі циклових коливань натягу ниток основи

Аналіз конструктивних особливостей вантажних ССННО і особливостей їх роботи в пружній системі заправки ВМ показує, що досягнути “нечутливості” до циклових коливань натягу ниток основи можна за рахунок варіювання такими динамічними параметрами, як приведена до роликів маса рухомих елементів та коефіцієнт в’язкого тертя. В якості критерію оцінки “нечутливості” до циклових коливань натягу ниток основи використано раніше введений показник ε' (2.56).

1. Схема заміщення вантажного ССННО в режимі циклових коливань натягу ниток основи. Основою для розробки схеми заміщення пружної системи заправки ОВМ з вантажним ССННО є раніше використана розрахункова схема пружної заправки ниток основи ВМ (див. рис. 2.2), з якої виведено СДННО. Відсутність СДННО в схемі заміщення дозволяє не тільки спростити процес вибору параметрів ССННО, а і підняти точність оцінки можливості вантажного ССННО бути “нечутливим” до циклових коливань натягу ниток основи.

В схемі заміщення системи “вантажний ССННО–нитки основи” представляє собою багатополіусник, який описується системою рівнянь [274, 317]:

$$\begin{cases} V_2 = kV_1; \\ f_1 = -kf_2, \end{cases} \quad (6.101)$$

де V_2 – швидкість подачі ниток вантажним ССННО;

V_1 – лінійна швидкість переміщення ролика вантажного ССННО;

f_2 – приведена до ролика сила ваги рухомих частин вантажного ССННО;

f_1 – натяг ниток основи, що виникає в результаті дії вантажного ССННО.

На рис. 6.5 зображена схема заміщення пружної системи заправки ВМ з вантажним ССННО.

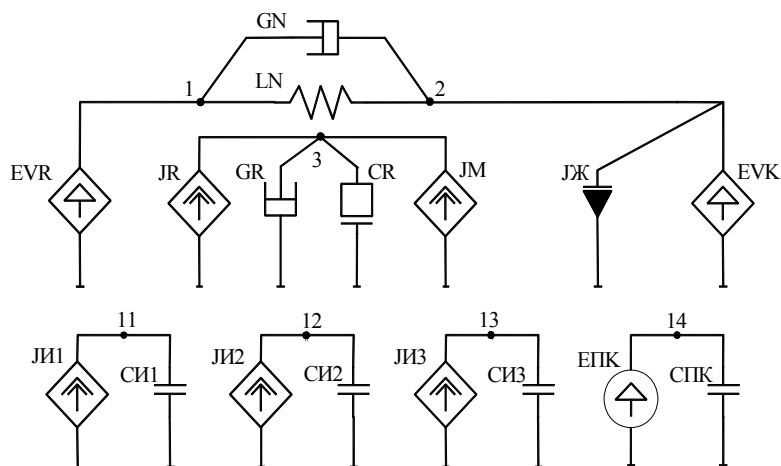


Рис. 6.5. Схема заміщення вантажного ССННО у пружній системі заправки ОВМ

Призначення складових схеми заміщення наступне:

EVR – залежне джерело швидкості подачі нитки роликком ССННО;

JR – джерело сили дії нитки основи на ролик ССННО;

GN – механічне демпфірування. Моделює дисипацію енергії нитками основи;

LN – механічна пружність. Моделює поступальну піддатливість ниток основи;

GR – механічне демпфірування. Моделює дисипацію енергії ССННО;

CR – маса. Моделює приведену до ролика ССННО масу його рухомих елементів;

JM – джерело сили ваги вантажів, приведеної до ролика ССННО;

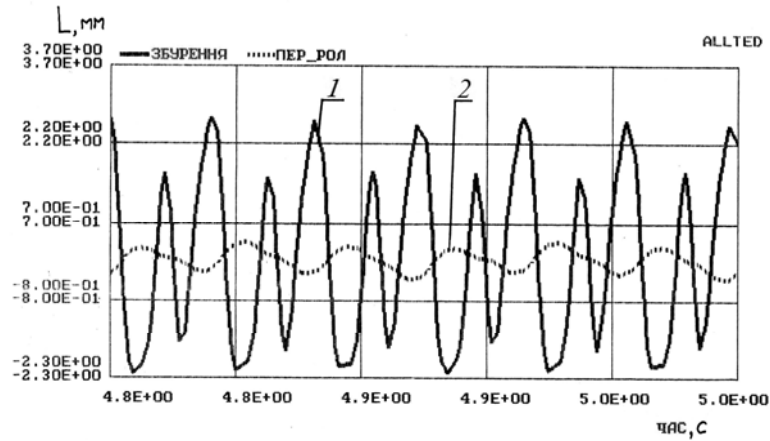
EVK – залежне джерело швидкості. Моделює швидкість вживання ниток основи першої–четвертої гармоніки нелінійної складової функції споживання ниток основи;

ЕПК – джерело переміщення. Моделює першу–четверту гармоніку нелінійної складової функції споживання ниток основи;

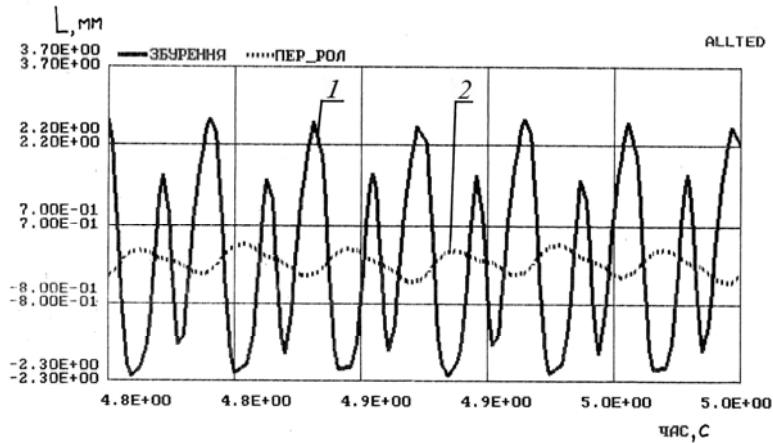
JI1, JI2, JI3, СИ1, СИ2, СИ3 – інтегратори.

На основі схеми заміщення було розроблено текст програми.

2. Числові дослідження вантажного ССННО в режимі циклових коливань натягу ниток основи. У процесі числових досліджень як функцію збурення використано нелінійну складову функції споживання ниток верхньої основи при в'язанні переплетення "трико-сукно" на ОВМ "Кокетт-2". Нелінійна складова описується чотирма гармоніками [62]. Заправка – віскозна нитка лінійною щільністю 8,33 текс.



а



б

Рис. 6.6. Циклограми функцій збурення (1) і коливань ролика (2):
а – $m_{np} = 10$ кг; б – $m_{np} = 40$ кг

Усі вхідні дані характерні для пружної системи заправки ОВМ моделі 5219 “Кокет–2”:

– піддатливість 2500 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення” дорівнює 0,0000166 мм/Н;

– коефіцієнт в’язкого тертя на ділянці “навій–зона петлеутворення” дорівнює 5 кг/с;

– приведена до ролика вага вантажу, що забезпечує середній натяг ниток основи порядку 4 сН, дорівнює 100 Н.

Для оцінки впливу коефіцієнта в’язкого тертя і приведеної до ролика маси рухомих елементів ССННО на його “чутливість” до циклових коливань натягу ниток основи прийнято, що приведена маса змінюється від 5 кг до 120 кг, коефіцієнта в’язкого тертя в системі ССННО – від 20 кг/с до 60 кг/с. Границі швидкісних режимів ВМ (від 1200 до 3000 петельних рядів на хвилину) охоплюють існуючі і перспективні швидкості в’язання.

На рис. 6.6 представлено приклади циклограм функції збурення (крива 1) і коливань ролика (крива 2) при двох значеннях приведеної маси ($m_{np} = 10$ кг і $m_{np} = 40$ кг) і швидкості в’язання – 1800 петельних рядів на хвилину.

Використовуючи вирази показника “чутливості” ССННО до високочастотних коливань ε' (2.43), визначені і занесені до таблиці 6.2 його значення для різних швидкостей в’язання.

Таблиця 6.2

Значення показника “чутливості” ССННО ε' (%)

Приведена маса рухомих елементів ССННО, кг	Швидкість в’язання, петельних рядів на хвилину			
	1200	1800	2400	3000
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Коефіцієнт в’язкого тертя 20 кг/с				
5	167,33	32,89	15,56	9,07
10	37,78	13,56	9,06	4,56
20	15,33	7,48	3,31	2,11
30	9,29	5,56	2,20	1,40
40	6,89	3,40	1,69	1,02
50	5,49	2,49	1,28	0,82
80	3,64	1,6	0,77	0,49
120	2,28	0,89	0,57	0,34

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5
Коефіцієнт в'язкого тертя 40 кг/с				
5	158,22	32,66	15,11	9,11
10	37,60	13,81	6,84	4,29
20	15,38	7,51	3,31	2,11
30	9,44	4,44	2,18	1,38
40	6,80	3,24	1,62	1,05
50	5,31	2,56	1,26	0,83
80	3,07	1,56	0,78	0,50
120	2,12	0,84	0,51	0,35
Коефіцієнт в'язкого тертя 60 кг/с				
5	148,44	33,78	14,89	8,89
10	37,78	13,78	7,02	4,36
20	15,11	6,02	3,33	2,18
30	9,33	3,89	2,18	1,38
40	6,76	2,85	1,64	1,03
50	5,33	2,27	1,27	0,83
80	3,20	1,33	0,79	0,50
120	2,24	1,09	0,55	0,34

Аналізуючи отримані результати зроблено ряд висновків:

– найбільш суттєвий вплив на “чутливість” вантажного ССННО до циклових коливань натягу ниток основи чинить приведена маса рухомих елементів ССННО, при цьому зі збільшенням значення приведеної маси “чутливість” вантажного ССННО до циклових коливань натягу ниток основи зменшується. Починаючи зі значень приведеної маси порядку 30–40 кг зменшення коефіцієнта ε' з збільшенням значення приведеної маси сповільнюється;

– реальні значення коефіцієнта в'язкого тертя вантажних ССННО здійснюють менш виразний вплив на “чутливість” вантажного ССННО до циклових коливань натягу ниток основи. Для практичних цілей можна рекомендувати значення коефіцієнта в'язкого тертя порядку 40 кг/с;

– “чутливість” вантажного ССННО до циклових коливань натягу ниток основи суттєво залежить від швидкості в'язання, так зі збільшенням швидкості в'язання з 1200 до 3000 петельних рядів на хвилину коефіцієнт ε' при інших рівних умовах зменшується у 5–10 разів;

– для різних швидкостей в'язання може бути рекомендоване наступне співвідношення параметрів, які і визначають низьке значення показника чутливості ε' :

– 1200 петельних рядів на хвилину – CS = 50 кг, GS = 40 кг/с, $\varepsilon' = 5,31 \%$;

– 1800 петельних рядів на хвилину – CS = 40 кг, GS = 60 кг/с, $\varepsilon' = 2,85 \%$;

– 2400 петельних рядів на хвилину – CS = 40 кг, GS = 20 кг/с, $\varepsilon' = 1,69 \%$;

– 3000 петельних рядів на хвилину – CS = 40 кг, GS = 20 кг/с, $\varepsilon' = 1,02 \%$.

6.4.2. Числові дослідження вантажних ССННО у режимі міжциклових коливань натягу ниток основи

В основу досліджень вантажних ССННО в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи покладено визначення ступеня стабілізації середнього натягу α (2.50) для раніш визначених чотирьох якісно-часових режимів за умовою додаткової подачі 10 мм ниток основи з навою при лінійній закономірності:

1) за 1 секунду, потім за 1 секунду відбувається вибірка 10 мм ниток основи;

2) за 10 секунд, потім за 10 секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи;

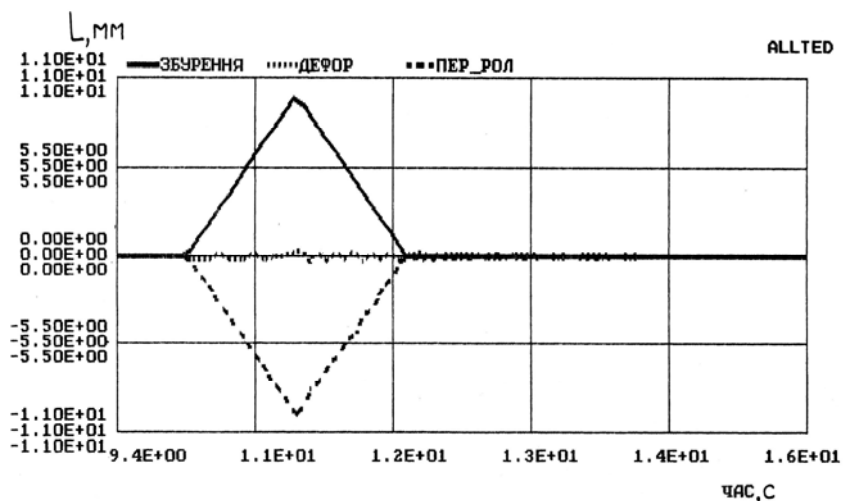
3) за 100 секунд, потім за 100 секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи;

4) за 1000 секунд, потім за 1000 секунд відбувається вибірка 10 мм ниток основи.

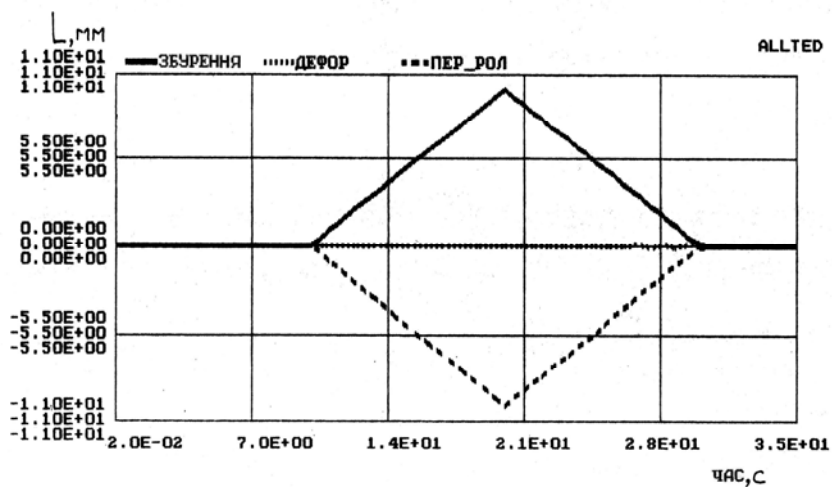
Дослідження вантажного ССННО в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи базується на тому, що вантажний ССННО практично “нечутливий” до циклових коливань натягу ниток основи.

Для досягнення такого стану прийнято, що коефіцієнт в'язкого тертя GS = 40 кг/с, а приведена маса вантажного ССННО CS змінюється від 20 до 50 кг. Для проведення вказаних числових досліджень розроблено відповідну програму.

На рис. 6.7 в якості прикладу, представлені графіки зміни деформації ниток основи при першому і другому якісно-часових режимах зміни подачі основи при коефіцієнті в'язкого тертя GS = 40 кг/с, і приведеній до скала масі вантажного ССННО CS = 40 кг.



a



б

Рис. 6.7. Результати числового моделювання якісно-часового режиму:
a – перший; *б* – другий

Використовуючи вираз (2.37) для всіх чотирьох якісно-часових режимів, визначені і представлені в таблиці 6.3 значення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи α .

**Значення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи
для вантажного ССННО (%)**

Приведена маса рухомих елементів ССННО, кг	Якісно-часові режими відхилення в подачі основи			
	перший	другий	третій	четвертий
20	96,68	99,56	99,99	99,99
30	96,15	99,37	99,98	99,99
40	95,77	99,20	99,97	99,99
50	92,26	99,05	99,95	99,99

З отриманих результатів зроблено висновок, що запропонована конструкція вантажного ССННО, після оптимізації її параметрів, забезпечує в пружній системі заправки ВМ високий ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи – більше 99 %. Виходячи з цього, зроблено висновок про доцільність проведення експериментальних досліджень для об'єктивної оцінки ефективності встановлення на ВМ вантажних ССННО.

6.5. Експериментальні дослідження вантажних ССННО

Метою експериментальних досліджень вантажного ССННО є перевірка результатів аналітичних досліджень в умовах максимально наближених до виробничих.

6.5.1. Методика проведення експерименту

В основу експериментальних досліджень вантажного ССННО покладено визначення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи (2.37), і показника ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (2.44) при встановленні ССННО на стенді, що моделює його роботу в системі пружної заправки ВМ, характерної для ВМ провідних машинобудівних фірм “Ліба”, “К. Майер”, “Текстіма”, “Малімо”. На стенді для визначення показників α та β передбачено варіант, що моделює пружну систему заправки ВМ без встановлення ССННО.

На рис. 6.8 зображена змонтована на стенді система пружної заправки ОВМ із запропонованим вантажним ССННО. Система включає ротаційний модулятор високочастотних коливань I , плас-

тинчастий СДННО (характерний для ОВМ провідних машинобудівних фірм) 2, запропонований вантажний ССНО 3, модулятор відхилення в ниткоподачі з навою 4, фіксатор кута повороту головного вала 5, тахометр 6, електродвигун 7. В якості ниток основи на стенді використано шнур 8, жорсткість якого еквівалентна жорсткості 50 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення”.

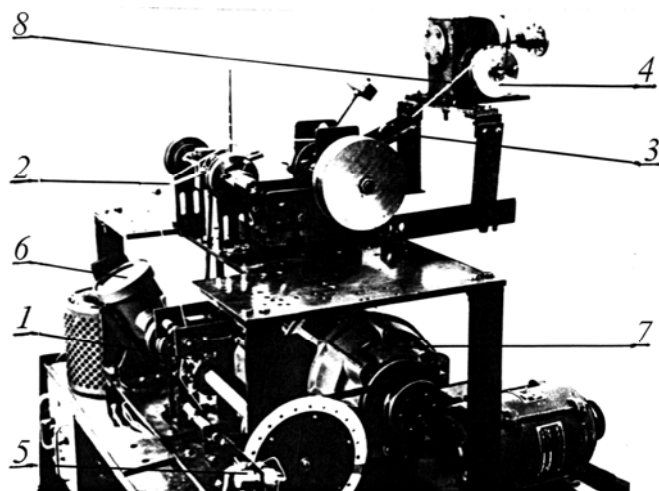


Рис. 6.8. Модель пружної системи заправки ОВМ з вантажним ССНО

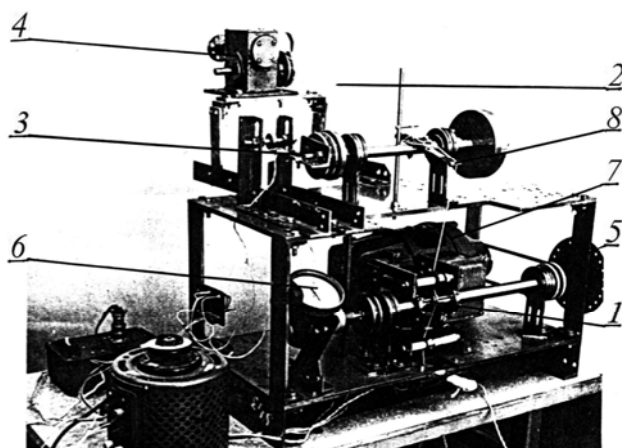


Рис. 6.9. Модель пружної системи заправки ОВМ “Кокетт–Е2”

На рис. 6.9 зображена змонтована на стенді система пружної заправки основов’язальної машини “Кокетт–Е2”. Система включає ротаційний модулятор високочастотних коливань 1, шнур 2, що моделює жорсткість 50 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення, СННО 3, характерний для ОВМ “Кокетт–Е2”, модулятор 4 відхилень в ниткоподачі з навою, фіксатор кута повороту головного валу 5, тахометр 6, електродвигун 7. У випадку жорсткої фіксації скала 8, змонтована система пружної заправки представляє собою систему без використання СННО.

Частота обертання головного валу ВМ при запису осцилограм натягу ниток основи відповідає трьом значенням швидкості в’язання, а саме 1200, 1800 і 2400 петельних рядів на хвилину.

Процес відхилення в подачі ниток з навою відповідає другому якісно-часовому режиму, в якому додаткова подача 10 мм основи з навою проходить по лінійному закону за 10 секунд, потім після паузи (порядку 10 с) за 10 секунд за лінійним законом проходить вибірка 10 мм ниток основи.

6.5.2. Обробка результатів експерименту

Розрахунок довірчих границь ординат розмахів коливань натягу ниток проведено за методикою, описаною в роботі [320] з використанням малої вибірки.

Число циклів для обробки вибрано таким чином, щоб довірливі границі були значно менші максимальних відхилень кривих і прийнято для кожного варіанту рівним п’яти. Розмах варіювання для більшості значень розмахів коливань натягу ниток основи з п’яти замірів був не більше 0,5 сН і прийнято рівним цьому значенню. За вказаними вхідними даними розраховані довірчі границі середніх арифметичних значень розмахів коливань натягу ниток точок заміру $x = x \pm 0,11$ сН при імовірності $P = 0,95$.

На рис. 6.10 представлені осцилограми коливань натягу ниток при відсутності в пружній системі заправки СННО (рис. 6.10, а), при використанні СННО ОВМ “Кокетт–Е2” (рис. 6.10, б) і при використанні запропонованого вантажного ССННО (рис. 6.10, в). Швидкість в’язання 1200 петельних рядів за хвилину. На представлених осцилограмах розмахи циклових коливань натягу ниток основи виділені значеннями B_1, B_2, B_3 , а відхилення від середнього значення A_1 та A_2 .

Значення A_3 – відхилення поточного натягу ниток від середнього на осцилограмі (рис. 6.10, *в*) відсутнє, тому що при використанні запропонованого вантажного ССНО при відхиленнях в подачі основи змін середнього значення натягу ниток не спостерігається.

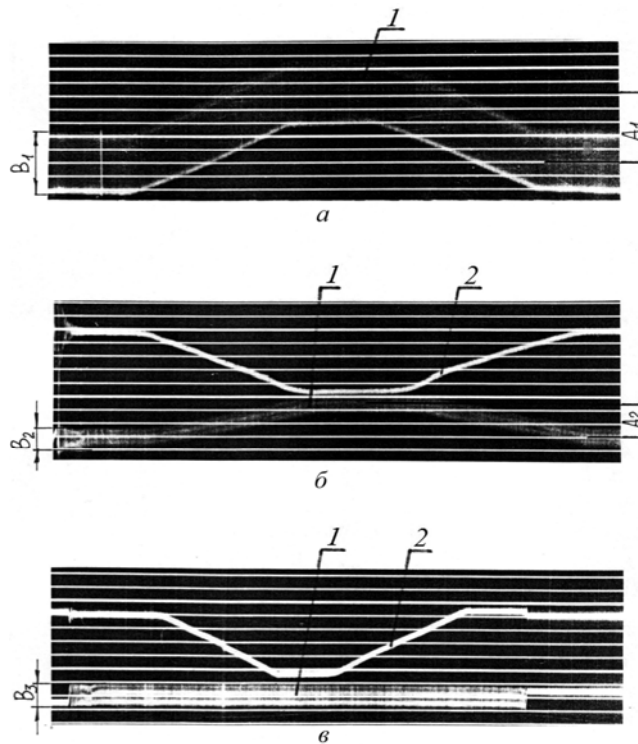


Рис. 6.10. Запис коливань натягу ниток основи (крива 1), переміщення скала (крива 2) для частоти обертання головного вала 1200 хв^{-1} :
а – при відсутності СНО; *б* – при використанні СНО
 ВМ “Кокетт–Е2”, *в* – при використанні вантажного ССНО

У таблиці 6.4 представлено значення показників α і β для СНО основи в’язальної машини 5225 “Кокетт–Е2” і вантажного ССНО, при різних швидкостях в’язання.

Експериментальні дослідження підтвердили достовірність аналітичних досліджень, так в обох випадках ступінь стабілізації

середнього натягу ниток основи для вантажного ССНО перевищує рівень 99 %.

Порівняно з СНО ОБМ “Кокетт–Е2” запропонований вантажний ССНО дозволяє практично повністю виключити коливання середнього натягу ниток основи при різних відхиленнях у подачі ниток основи.

Таблиця 6.4

Результати дослідження показників α і β для СНО основ’язальної машини 5225 “Кокетт–Е2” і вантажного ССНО

Вид стабілізатора	Показник ефективності СНО, %	Швидкість в’язання, петельних рядів на хвилину		
		1200	1800	2400
СНО ОБМ “Кокетт–Е2”	α	52,4	52,3	52,4
	β	55,0	53,0	50,0
Вантажний ССНО	α	99,5	99,4	99,3
	β	57,5	57,0	54,0

Висновки

1. На основі аналізу тенденцій удосконалення пасивних ССНО запропоновано перспективний напрям створення вискоєфективних пасивних вантажних ССНО, яким притаманні широкі можливості стабілізації середнього натягу ниток основи.

2. Розроблена математична модель статичної дії вантажного ССНО на нитки основ, на основі якої, виконана оптимізація конструктивних параметрів стабілізатора.

3. Показано, що запропонований вантажний ССНО має можливості забезпечувати відносні коливання середнього натягу ниток основи на рівні нижче 1 %, при умові його “нечутливості” до циклових коливань натягу ниток основи.

4. Динамічні дослідження вантажного ССНО проведені з використанням автоматизованої системи проектування та дослідження приводів і динамічних систем ПРАНС-ПК. Досліджені та встановлені умови досягнення відносної “нечутливості” вантажного ССНО до циклових коливань натягу ниток основи при високому ступені “чутливості” до міжциклових коливань натягу ниток.

5. Експериментальні дослідження запропонованого вантажного і відомих ССНО на універсальному стенді показали переваги

вантажного ССННО. Так при 50–55 % рівні стабілізації середнього натягу ниток основи відомими ССННО, вантажний ССННО забезпечує 99 % і вище рівень стабілізації середнього натягу ниток основи.

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНИХ СННО

Аналітичні дослідження одно- і двомасових пасивних СННО показали, що двомасові стабілізатори більш прийнятні для ОВМ і ВПМ порівняно з одномасовими. Так, при відносно однакових значеннях ступенях стабілізації динамічного натягу ниток основи, двомасові пасивні СННО забезпечують більш високий ступінь стабілізації середнього натягу ниток, однак ці значення значно менші від тих, які забезпечує вантажний ССННО. Враховуючи особливості конструкцій двомасових пасивних СННО і вантажних ССННО, було зроблено висновок про можливість підвищення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи двомасових пасивних СННО за рахунок заміни їх низькочастотної складової вантажним ССННО. Комбінований СННО може бути отриманий також шляхом об'єднання в одній конструкції одномасового пасивного СДННО і вантажного ССННО, при цьому скало СДННО контактує з нитками основи, а ССННО кріпиться до станини.

Для оцінки можливості комбінованих СННО виконано комплекс експериментально-аналітичних досліджень.

7.1. Вибір принципової схеми комбінованих СННО

Виходячи із зазначеного, в основу конструкції комбінованого СННО покладено високочастотну складову двомасового пасивного СННО з під'єднанням до неї вантажного ССННО [331].

На рис. 7.1 наведена принципова схема комбінованого СННО з клиноподібними пружними пластинами (рис. 7.1, *a*) та з монопластиною, вільний кінець якої виконує функцію скала (рис. 7.1, *б*). Скало 1, охоплене нитками основи 2, закріплене на

кінцях пружних клиноподібних пластин 3 (рис. 7.1, *a*) або є продовженням пружних монопластин 5, закріплених на валу 4 (рис. 7.1, *б*). На ньому, ближче до його кінців, закріплені важелі 6, на кінцях яких закріплені диски 7. Диски 8 закріплені на кінцях вала 4, а функціональний зв'язок з механізмом подачі ниток основи, зокрема з навоєм 11, відбувається через важіль 9 і датчик 10, закріплений на станині ВМ. Для утворення кута охопту нитками основи 2 скала 1, між навоєм 11 і скалом 2 встановлена нитко-напрямна балочка 12.

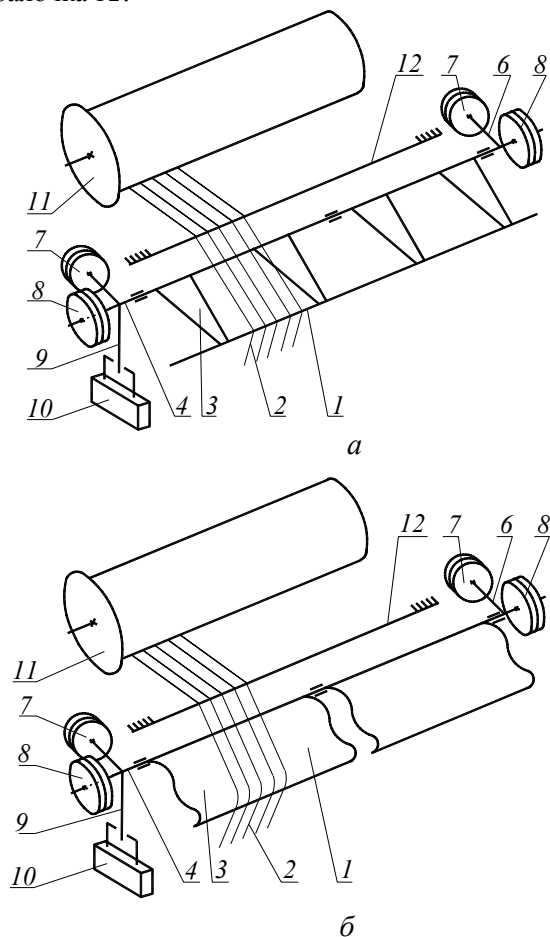


Рис. 7.1. Принципові схеми комбінованого СННО

Комбінований СННО працює наступним чином. Диски 7 силою своєї ваги через важелі 6, вал 4, пластини 3 або 5 і скало 1 діють на нитки основи 2, формуючи в них натяг. Кількість дисків 7 і геометричні розміри важелів 6, пластин 3 або 5 визначають значення середнього натягу ниток основи 2.

При зміні величини подачі ниток основи 2 з навою 11, скало 1 під дією сили ваги дисків 7 з одного боку і натягу ниток основи 2 з іншого боку, повертається разом з валом 4, компенсуючи цим зміну величини подачі ниток 2 з навою 11, при цьому значення середнього натягу ниток основи не змінюється, а через важіль 9 і датчик 10 подається сигнал механізму подачі ниток для коректування величини подачі ниток основи. За рахунок закріплення дисків 8 на кінцях вала 4, інертність всього пристрою збільшується, а частота власних коливань зменшується до рівня, коли вал 4 разом з дисками 7 і 8 практично не реагують на циклові коливання натягу ниток основи 2 відносно середнього натягу.

Зменшення розмахів коливань динамічної складової натягу ниток основи в запропонованому комбінованому СННО відбувається за рахунок коливань скала 1 під дією пружних пластин 3 і 5 при практично нерухомому валу 4. Таким чином, у запропонованій конструкції одночасно і незалежно відбувається два процеси стабілізації – підтримка сталим середнього натягу ниток основи і зменшення розмахів коливань динамічної складової їх натягу.

7.2. Аналітичні дослідження комбінованого СННО

Запропонований варіант комбінованого СННО передбачає проведення одночасно двох процесів стабілізації натягу ниток основи, а саме – підтримку сталим середнього натягу ниток основи і мінімізацію динамічної складової їх натягу. Зважаючи на незалежність двох процесів, аналітичні дослідження комбінованого СННО розділено на два етапи: статичні та динамічні.

Статичні дослідження стабілізатора охоплюють дослідження процесу стабілізації середнього натягу ниток основи, тобто його низькочастотну складову. Оперуючи даними про можливості вантажного ССННО, елементи якого формують у комбінованому СННО низькочастотну складову, статичні дослідження проведені за схемою – розробка математичної моделі низькочастотної складо-

вої комбінованого СННО з наступною оптимізацією конструктивних параметрів.

Динамічні дослідження комбінованого СННО охоплюють дослідження роботи пристрою в режимі внутрішньоциклових (циклових) коливань натягу ниток основи, при цьому передбачена оцінка стану “нечутливості” низькочастотної складової до циклових коливань натягу ниток основи і в режимі міжциклових коливань.

7.2.1. Статичні дослідження комбінованого СННО

1. Постановка задачі. Метою дії низькочастотної складової комбіновано СННО на нитки основи є підтримання сталості середнього натягу ниток основи при зміні величини подачі ниток основи, обумовленій спрацюванням навоїв або перехідними процесами. Процес підтримки сталості середнього натягу ниток основи відбувається за рахунок переміщення скала і відповідній йому зміні силової дії низькочастотної складової стабілізатора ниток основи.

У запропонованій конструкції комбінованого СННО при силевій дії низькочастотної складової на нитки основи, скало переміщується з одного крайнього положення в інше і назад. На сучасних ОВМ і ВПМ в крайніх положеннях скала встановлено датчики, які керують роботою механізмів подачі ниток основи, при цьому розмах переміщення скала між крайніми положеннями складає порядку 10 мм. Для отримання більш об’єктивної картини про можливість запропонованого стабілізатора розмах переміщення скала прийнято рівним 40 мм.

Критерієм оптимізації низькочастотної складової комбінованого СННО вибрано показник відносного коливання середнього натягу ниток основи ξ (6.1) при заданій зміні подачі ниток, значення якого повинно бути максимально наближеним до нуля.

Розрахункова схема комбінованого СННО представлена на рис. 7.2 у вигляді плоскої моделі, що включає нитки основи і всі основні елементи стабілізатора, де скало 1, закріплене на кронштейнах 2, балочки 3 та 4, які огинаються нитками основи 5, при цьому балочка 3 моделює голку з вушком, з якою контактують нитки основи 5. На валу 6 закріплено вантажний важіль 7, на кінці якого зафіксовано вантаж, вага якого рівна P .

Прийняті наступні припущення:

- 1) режим роботи вантажного ССННО близький до статичного;
- 2) нитки основи зазнають тільки пружні деформації;

- 3) вага скала і кронштейнів 2 врівноважена протипагою;
- 4) тертя в підшипниках стабілізатора відсутнє;
- 5) кронштейн 2 абсолютно жорсткий;
- 6) тертя між нитками і скалом відсутнє.

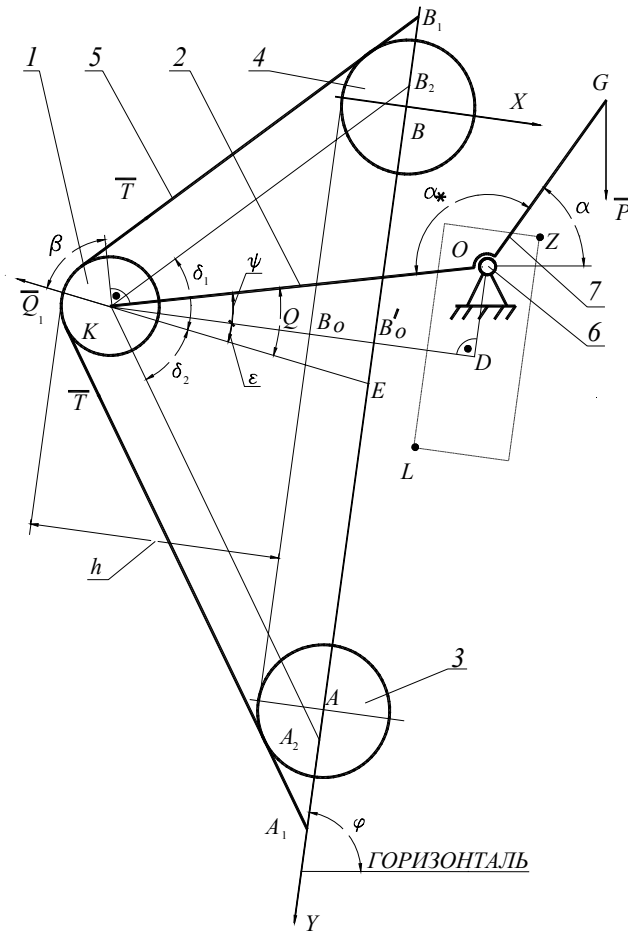


Рис. 7.2. Розрахункова схема комбінованого СННО

П'яте припущення дозволяє виключити з конструкції стабілізатора високочастотну складову.

Останнє припущення прийняте з наступних міркувань. Скало 1 у процесі роботи ВМ робить циклічні коливання, при цьому

всередині циклу для різних машин їх кількість коливається від 2 до 6 і більше [37, 38, 40, 41]. При русі в бік зони петлеутворення співвідношення між натягом нитки на ділянці “балочка 4 – скало 1” і “скало 1 – балочка 3” визначається виразом:

$$T_{KA} = T_{BK} e^{\mu\alpha}, \quad (7.1)$$

де α – кут обхвату нитками основи скала;

μ – коефіцієнт тертя між ниткою і поверхнею балочки.

При русі скала від зони петлеутворення вираз (7.1) прийме вигляд:

$$T_{KA} = T_{BK} e^{-\mu\alpha}. \quad (7.2)$$

Виходячи з того, що процес коливань натягу ниток основи циклічно повторюється, з деяким припущенням можна прийняти, що:

$$\sum_{i=1}^n T_{KA} = \sum_{i=1}^n T_{KBK}, \quad (7.3)$$

де n – число коливань натягу ниток основи за один цикл петлеутворення.

З виразу (7.2) отримуємо, що $\mu = 0$, а припущення справедливе.

На розрахунковій схемі (див. рис. 7.2) прийнято наступні позначення:

\bar{T} – вектор натягу ниток основи в робочій зоні стабілізатора;

\bar{Q}_1 – вектор сили дії скала на нитки основи;

\bar{P} – вектор сили ваги вантажу.

Інші позначення введені в процесі аналітичних досліджень стабілізатора. За центр системи координат вибрана вісь балочки 4; напрям осей системи координат представлено на схемі.

Вхідні дані для математичного моделювання визначаються з конструкції ВМ та видом ниток основи:

T – значення середнього натягу ниток основи;

N – кількість ниток основи в заправці;

r_K, r_A, r_B – радіуси скала і нитконапрямних балочок;

h_B, h_H – максимальні відхилення скала від дотичної до балочок в крайніх верхніх і нижніх положеннях;

l_O – довжина вантажного важеля;

l – віддаль між осями нитконапрямних балочок;

φ – кут нахилу осі Y до горизонту.

За розрахунковою схемою аналогічно рівнянню (6.5), отримано вираз натягу ниток основи в робочій зоні комбінованого СННО:

$$T = \frac{Pl_0}{2m} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta \cdot \cos \gamma}, \quad (7.4)$$

де α – кут між горизонталлю та вантажним важелем;

γ – кут між вектором натягу ниток \vec{T} і вектором сумарної силової дії натягу ниток на скало \vec{Q} ;

β – кут між перпендикуляром до кронштейна скала і вектором силової дії укала на нитки основи.

З рівняння (7.4) випливає, що для забезпечення сталості натягу ниток основи достатньо виконати умову:

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta \cdot \cos \gamma} = c_c = \text{const}, \quad (7.5)$$

оскільки інші параметри рівняння (7.4) постійні для визначеного СННО.

Для оцінки можливості забезпечення вантажним ССННО умови (7.5), виконано цикл аналітичних і числових досліджень, кінцева мета яких – отримання даних про можливість підтримання сталості середнього натягу ниток основи при зміні у величині подачі ниток.

2. Аналітичний аналіз низькочастотної складової комбінованого СННО. Базуючись на результатах проектування вантажного ССННО, на початку досліджень розглянуто виконання умови (7.5) в крайньому верхньому і крайньому нижньому положеннях скала.

Кути δ_1 та δ_2 в крайніх положеннях, для розрахункової схеми (рис. 7.2) визначено аналогічно виразам (6.23) і (6.24), при цьому індекс “в” відповідає крайньому верхньому положенню, а індекс “н” – нижньому:

$$\left(\cos \begin{Bmatrix} \delta_{1B} \\ \delta_{1H} \end{Bmatrix} \right)_{1,2} = \frac{(r_B + r_K) y_{K_i} \pm x_{K_i} \sqrt{x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - (r_B + r_K)^2}}{x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2}; \quad (7.6)$$

$$\left(\cos \begin{Bmatrix} \delta_{2B} \\ \delta_{2H} \end{Bmatrix} \right)_{1,2} = \frac{(r_A + r_K)(l - y_{K_i}) \pm x_{K_i} \sqrt{x_{K_i}^2 + (l - y_{K_i})^2 - (r_A + r_K)^2}}{x_{K_i}^2 + (l - y_{K_i})^2}; \quad (7.7)$$

$$\text{де } x_{K_B} = h_B - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2} = h_o - \Delta h - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2}; \quad (7.8)$$

$$x_{K_H} = h_H - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2} = h_o - \Delta h - \frac{r_A - r_B + 2r_K}{2}; \quad (7.9)$$

$$h_o = \frac{1}{2}(h_{\%o} + h); \quad (7.10)$$

$$y_{K_H} = y_{K_B} = \frac{l}{2}; \quad (7.11)$$

$$\Delta h = h_H - h_o = h_o - h_B. \quad (7.12)$$

При розв'язанні рівнянь (7.6) та (7.7) покладено виконання раніше обумовлених умов:

$$0 < \delta_i < \frac{\pi}{2} \text{ або } 0 < \cos \delta_1 < 1, \quad (7.13)$$

де i – номер варіанта розв'язку рівняння.

Задавшись значенням y_{k_b} (ордината осі скала в крайньому верхньому положенні), визначено її абсцису:

$$x_{K_B} = -(h_B - r_K + B_o B') = -\left(h_B - r_K + \frac{r_A y_{K_B} + r_B (l - y_{K_B})}{l} \right). \quad (7.14)$$

Оперуючи значеннями кутів δ_{1_B} та δ_{2_B} , визначено γ_B та ε_B :

$$\begin{aligned} \gamma_B &= \frac{1}{2}(\delta_{1_B} + \delta_{2_B}); \\ \varepsilon_B &= \delta_{1_B} - \frac{\delta_{1_B} + \delta_{2_B}}{2} = \frac{1}{2}(\delta_{1_B} - \delta_{2_B}). \end{aligned} \quad (7.15)$$

З трикутника DKO визначено кут $\psi = \angle DKO$:

$$\text{tg} \psi_B = \frac{DO}{DK}. \quad (7.16)$$

Залежно від співвідношення координат точок O та K можливі декілька варіантів при визначенні кута ψ_B :

$$\psi_B = \begin{cases} \arctg \frac{y_{K_B} - y_o}{x_o - x_{K_B}}, x_o > x_{K_B}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{x_{K_B} - x_o}{y_{K_B} - y_o}, x_o < x_{K_B}; \\ \frac{\pi}{2}, x_o = x_{K_B}; \end{cases} \quad (7.17)$$

Оперуючи значеннями кута ψ_B , визначено кути θ_B і β_B :

$$\theta_B = \psi_B - \varepsilon_B = \psi_B - \frac{1}{2}(\delta_{1B} - \delta_{2B}); \quad (7.18)$$

$$\beta_B = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_B, \theta_B \leq \frac{\pi}{2}; \\ \theta_B - \frac{\pi}{2}, \theta_B > \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (7.19)$$

Для знаходження кутів γ_H , ε_H , φ_H , θ_H , β_H визначено довжину кронштейна для кріплення скала m , допускаючи при цьому, що відомі x_O , y_O , x_{K_B} , y_{K_B} . Довжину кронштейна m визначено з трикутника KDO :

$$m = \sqrt{(DK)^2 + (DO)^2} = \sqrt{\left(h_B - r_K + \frac{r_A y_{K_B} + r_B (l - y_{K_B})}{l} + x_o \right)^2 + (y_{K_B} - y_o)^2}. \quad (7.20)$$

Враховуючи, що довжина відрізка $B_0 B'_0$ при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше практично не змінюється, в нульовому наближенні запишемо:

$$(x_{K_H})_o = h_H - r_K - B_o B'_o = h_H - r_K - \frac{r_A y_{K_B} + r_B (l - y_{K_B})}{l}. \quad (7.21)$$

З трикутника DKO визначимо послідовно:

$$DO = \sqrt{(OK)^2 - (DK)^2} = \sqrt{m^2 - (x_o - x_{KH})^2}, \quad (7.22)$$

$$(y_{KH})_0 = y_0 + \sqrt{m^2 - \left(h_H - r_K + \frac{r_A y_{KB} + r_B (l - y_{KB})}{l} + x_0 \right)^2}. \quad (7.23)$$

Після знаходження в нульовому наближенні $(x_{KH})_0$ і $(y_{KH})_0$, їх значення уточнено методом ітерації для виразів:

$$(x_{KH})_i = h_H - r_K - \frac{r_A (y_{KH})_{i-1} + r_B (l - (y_{KH})_{i-1})}{l}; \quad (7.24)$$

$$(y_{KH})_i = y_0 + \sqrt{m^2 - \left(h_H - r_K + \frac{r_A (y_{KH})_{i-1} + r_B (l - (y_{KH})_{i-1})}{l} + x_0 \right)^2}. \quad (7.25)$$

Для практичного використання достатньо досягти точності 0,1 %, тоді:

$$\left((y_{KH})_i - (y_{KH})_{i-1} \right) < 0,001 \left((y_{KH})_i \right); \quad (7.26)$$

$$\left((x_{KH})_i - (x_{KH})_{i-1} \right) < 0,001 \left((x_{KH})_i \right). \quad (7.27)$$

Визначення кутів γ_H , ε_H , φ_H , θ_H , β_H проведено аналогічно їх визначення в крайньому верхньому положенні:

$$\gamma_H = \frac{1}{2} (\delta_{1H} + \delta_{2H}); \quad (7.28)$$

$$\varepsilon_H = \frac{1}{2} (\delta_{1H} - \delta_{2H}). \quad (7.29)$$

$$\theta_H = \psi_H - \varepsilon_H; \quad (7.30)$$

$$\varphi_H = \begin{cases} \arctg \frac{y_{KH} - y_o}{x_o - x_{KH}}, x_o > x_{KH}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{x_{KH} - x_o}{y_{KH} - y_o}, x_o < x_{KH}; \\ \frac{\pi}{2}, x_o = x_{KH}. \end{cases} \quad (7.31)$$

$$\beta_H = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_H, \theta_H < \frac{\pi}{2}; \\ \theta_H - \frac{\pi}{2}, \theta_H \geq \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (7.32)$$

Визначимо кут $\Delta\alpha$, на якому повертається кронштейн скала, а з ним і ваговий важіль:

$$\Delta\alpha = \psi_H - \psi_B. \quad (7.33)$$

Виходячи з того, що в крайніх положеннях повинна виконуватися умова (7.5), отримано вираз:

$$\frac{\cos \alpha_B}{\cos \beta_B \cos \gamma_B} = \frac{\cos \alpha_H}{\cos \beta_H \cos \gamma_H} = \text{const} = c_{HB}. \quad (7.34)$$

Після перетворень рівняння (7.34), отримано:

$$\frac{\cos \alpha_H}{\cos \alpha_B} = \frac{\cos \beta_H \cos \gamma_H}{\cos \beta_B \cos \gamma_B} = \text{const} = c. \quad (7.35)$$

Враховуючи, що $\alpha_H = \alpha_B + \Delta\alpha$, визначено:

$$\cos(\alpha_B + \Delta\alpha) = c \cos \alpha_B. \quad (7.36)$$

Рішаючи рівняння (7.36) відносно $\cos \alpha_B$, з врахуванням виразу (7.35), отримано:

$$\cos \alpha_B = \frac{\sin \Delta\alpha}{\sqrt{\sin^2 \Delta\alpha + (c - \cos \Delta\alpha)^2}}. \quad (7.37)$$

З виразу (7.37) визначено кут α_B :

$$\alpha_B = \arccos \left(\frac{\sin \Delta\alpha}{\sqrt{\sin^2 \Delta\alpha + (c - \cos \Delta\alpha)^2}} \right). \quad (7.38)$$

Таким чином визначено значення кутів α_B та $\alpha_H = \alpha_B + \Delta\alpha$, що забезпечує сталість значення натягу ниток основи в крайніх положеннях скала.

При переміщенні скала з одного крайнього положення в інше, в яких значення натягу ниток однаково, скало проходить середнє значення, в якому найбільш імовірно відхилення натягу. Для оцінки величини можливого відхилення натягу в середньому положенні скала, визначено значення кутів α , β , γ в цьому положенні (всім параметрам в середньому положенні присвоєно індекс "о"):

$$\alpha_o = \frac{\alpha_B + \alpha_H}{2} = \alpha_B + \frac{\Delta\alpha}{2}; \quad (7.39)$$

$$\beta_o = \frac{\beta_B + \beta_H}{2}; \quad (7.40)$$

$$\gamma_o = \frac{\gamma_B + \gamma_H}{2}. \quad (7.41)$$

Для середнього положення скала справедлива умова:

$$\frac{\cos(0,5(\alpha_H + \alpha_B))}{\cos(0,5(\beta_H + \beta_B)) \cos(0,5(\gamma_H + \gamma_B))} = c_o. \quad (7.42)$$

Оперуючи значеннями c_{HB} , c_o можна оцінити можливі коливання натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше:

$$\delta = 2 \frac{c_o - c_{HB}}{c_o + c_{HB}} \cdot 100 \%. \quad (7.43)$$

Поставивши задачу, щоб $\delta = \delta_{\min}$, методом перебору визначено координати точки $O(x_o, y_o)$, при яких коливання натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше будуть мінімальними.

Кут α_* між важелем для кріплення вантажу і кронштейном для кріплення скала визначено як середньоарифметичне його значення в крайнім верхнім і нижнім положеннях:

$$\alpha_* = \frac{1}{2}(\pi + \varphi_H + \varphi_B - \alpha_B - \alpha_H) \pm \varphi. \quad (7.44)$$

Верхній знак у виразі (7.44) перед φ береться, коли точка A нижче точки B по відношенню до горизонталі і навпаки.

Виходячи з необхідного натягу ниток основи T , визначено необхідну величину ваги вантажу P , враховуючи при цьому вагу вантажного важеля:

$$P = 2mNT \frac{\cos(0,5(\beta_H + \beta_B)) \cos(0,5(\gamma_H + \gamma_B))}{l_o \cos(0,5(\alpha_H + \alpha_B))} - 0,5l_o S_P \rho_P, \quad (7.45)$$

де S_P – площа поперечного перерізу важеля l_o ;

ρ_P – питома вага матеріалу важеля l_o .

Задавшись кількістю точок l , в яких визначаються поточні значення натягу ниток основи при переміщені скала з одного крайнього положення в інше, визначено крок Δh_o розміщення точок вимірювання:

$$\Delta h = \frac{1}{I}(h_B - h_H). \quad (7.46)$$

Приймаючи $x_{K_1} = x_{K_B}$, визначено:

$$x_{K_i} = x_{K_{i-1}} + \Delta h, \quad (7.47)$$

$$y_{K_i} = y_o + \sqrt{m^2 - (x_o - x_{K_i})^2}; \quad (7.48)$$

$$h_i = h_B - (i - 1)\Delta h. \quad (7.49)$$

З виразів (7.6) і (7.7), в яких замість x_K та y_K підставлено x_{K_i} і y_{K_i} , отримано δ_{1i} та δ_{2i} .

Після визначення δ_{1i} та δ_{2i} , визначено поточні значення інших кутів:

$$\gamma_i = \frac{1}{2}(\delta_{1i} + \delta_{2i}); \quad (7.50)$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2}(\delta_{1i} - \delta_{2i}); \quad (7.51)$$

$$\psi_i = \begin{cases} \arctg \frac{y_{K_i} - y_o}{x_o - x_{K_i}}, x_o > x_{K_i}; \\ \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{x_{K_i} - x_o}{y_{K_i} - y_o}, x_o < x_{K_i}; \\ \frac{\pi}{2}, x_o = x_{K_i} \end{cases} \quad (7.52)$$

$$\theta_i = \psi_i - \varepsilon_i; \quad (7.53)$$

$$\beta_i = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta_i, \theta_i \leq \frac{\pi}{2}; \\ \theta_i - \frac{\pi}{2}, \theta_i > \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (7.54)$$

Кут α_i визначається виходячи з виразу (7.44):

$$\alpha_i = \frac{\pi}{2} + \psi_i - \alpha_* \pm \varphi. \quad (7.55)$$

Знак перед φ береться аналогічно, як для виразу (7.44).

Вираз для натягу ниток основи в i -му положенні скала має вигляд:

$$T_i = \frac{(2P + l_o S_p \rho_p) l_o \cos \alpha_i}{4mN \cos \beta_i \cos \gamma_i}. \quad (7.56)$$

Оперуючи значеннями натягу ниток основи в кожному i -му положенні скала, за формулою (6.1) можна визначити максимальний розмах коливань натягу ниток основи.

3. Параметри низькочастотної складової комбінованого СННО і їх оптимізація. Критерієм оптимізації низькочастотної складової комбінованого СННО вибрано показник коливань середнього натягу ниток основи ξ (6.1), значення якого повинно бути максимально наближене до нуля.

Оптимізація конструктивних параметрів низькочастотної складової комбінованого СННО виконано на прикладі їх встановлення (заміні існуючих СННО) на ОВМ моделі 5219 “Кокетт-2” і 5225 “Кокетт-Е2”, які найбільш широко використовуються на трико-тажних фабриках.

За аналітичними дослідженнями низькочастотної складової СННО та конструктивними особливостями ОВМ визначені наступні вхідні дані для оптимізації конструктивних параметрів комбінованого СННО при його встановленні на верхній основі:

- натяг одної нитки основи в робочій зоні стабілізатора $T = 5$ сН;
- кількість ниток основи в заправці $N = 2500$;
- радіуси нитконапрямних балочок і скала $r_A = 1$ мм; $r_A = 5$ мм; $r_K = 5$ мм;
- кут нахилу осі Y до горизонту $\varphi = -95^\circ$;
- довжина вантажного важеля $l_O = 150$ мм;
- віддаль між зоною петлеутворення (балочка 3) і нитконапрямною балочкою 4: $l = 270$ мм;
- відхилення скала від дотичної до балочки в крайньому верхньому положенні $h_B = 95$ мм і крайньому нижньому – $h_B = 85$ мм;
- межі області встановлення вала 6 (точка O) близькі до координат осі скала СННО ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2” і 5225 “Кокетт–Е2” і дорівнюють $x_Z = 30$ мм; $x_L = 0$ мм; $y_Z = 10$ мм; $y_L = 60$ мм;
- ордината скала (точка K) у крайньому верхньому положенні $y_{K_B} = 80$ мм;
- кількість точок визначення натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше $l = 20$.

Використовуючи розроблену програму, отримані оптимальні конструктивні параметри низькочастотної складової комбінованого СННО, що забезпечують відносно коливання середнього натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше на рівні $\xi = 0,046$ %, а саме:

- довжина кронштейна для кріплення скала $m = 142,23$ мм;
- координати вала СННО – $x_O = 30$ мм; $y_O = 10$ мм;
- кут між вантажним важелем і кронштейном кріплення скала $\alpha_* = 172,27^\circ$;
- вага вантажу $P = 97,59$ Н.

Вхідні дані для оптимізації конструктивних параметрів комбінованого СННО при його встановленні на нижній основі наступні:

- натяг одної нитки основи в робочій зоні стабілізатора $T = 5$ сН;
- кількість ниток основи в заправці $N = 2500$;
- радіуси нитконапрямних балочок і скала $r_A = 1$ мм; $r_B = 5$ мм; $r_K = 5$ мм;

- кут нахилу осі Y до горизонту $\varphi_Z = -65^\circ$;
- довжина вантажного важеля $l_O = 150$ мм;
- віддаль між зоною петлеутворення (балочка 3) і нитко-напрямною балочкою 4: $l = 240$ мм;
- відхилення скала від дотичної до балочки в крайньому верхньому положенні $h_B = 95$ мм і в крайньому – $h_H = 85$ мм;
- межі області встановлення вала 6 (точка O) близькі до координат осі скала СННО ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2” і 5225 “Кокетт–Е2” і дорівнюють $x_Z = 20$ мм; $x_L = 0$ мм; $y_Z = 10$ мм; $y_L = 60$ мм;
- ордината скала (точка K) в крайньому верхньому положенні $y_{K_B} = 80$ мм;
- кількість точок визначення натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше $l = 20$.

Використовуючи розроблену програму, отримані оптимальні конструктивні параметри низькочастотної складової комбінованого СННО, що забезпечують відносно коливання середнього натягу ниток основи при переміщенні скала з одного крайнього положення в інше на рівні $\xi = 0,025$ %, а саме:

- довжина кронштейна для кріплення скала $m = 136,9$ мм;
- координати вала СННО – $x_O = 24$ мм; $y_O = 10$ мм;
- кут між вантажним важелем і кронштейном кріплення скала $\alpha_* = 180,15^\circ$;
- вага вантажу $P = 94,68$ Н.

Результати статичних досліджень комбінованого СННО показали можливість, за рахунок оптимізації низькочастотної складової в статичному режимі, зменшити відносно коливання середнього натягу ниток основи до рівня 0,5 % і нижче, при цьому розраховані конструктивні параметри стабілізатора дозволяють органічно ввести його в конструкцію ОВМ.

Наступним етапом оцінки можливостей комбінованих СННО є динамічні дослідження.

7.2.2. Динамічні дослідження комбінованого СННО

1. Задачі динамічних досліджень. Динамічні дослідження, з врахуванням результатів статичних досліджень, передбачають подальше дослідження комбінованого СННО, з метою оцінки його можливості ефективно виконувати функції як СДННО, так і ССННО. Раніше було відмічено, що призначення високочастотної складової

стабілізатора – виконання функцій СДННО и ССННО, а низькочастотної складової – тільки функції ССННО, при “нечутливості” до циклових коливань натягу ниток основи. Виходячи із сказаного і незалежності процесів стабілізації середнього і динамічного натягу ниток основи, динамічні дослідження виконані поетапно в наступному порядку:

1) дослідження роботи низькочастотної складової стабілізатора в режимі циклових коливань натягу ниток основи. Задача етапу – оцінити можливість досягнення стану “нечутливості” низькочастотної складової до циклових коливань натягу ниток основи;

2) дослідження роботи комбінованого СННО в режимі циклових коливань натягу ниток основи. Задача етапу – оцінити ефективність роботи комбінованого стабілізатора, як СДННО;

3) дослідження роботи комбінованого стабілізатора в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи. Задача етапу – оцінити ефективність роботи комбінованого стабілізатора, як ССННО.

У процесі динамічних досліджень комбінованого СННО, використано апробовану систему автоматизованого проектування і дослідження динамічних систем ПРАНС-ПК [274, 275].

2. Розробка схеми заміщення комбінованого СННО. Основа для розробки схеми заміщення комбінованого СННО в пружній системі заправки ВМ є принципова схема стабілізатора (рис. 7.1).

У схемі заміщення система “скало–нитки основи” представляє собою багатопольсник, який описується системою рівнянь [274]:

$$\begin{cases} V_2 = kV_1; \\ f_1 = -kf_2, \end{cases} \quad (7.57)$$

де V_2 – швидкість подачі ниток основи скалом комбінованого СННО;

V_1 – лінійна швидкість переміщення скала комбінованого СННО;

f_1 – приведена до скала сила ваги вантажу та сила стиснення (розтягу) підскальних пружин комбінованого СННО;

f_2 – натяг ниток основи, що виникає в результаті дії комбінованого СННО;

k – передавальне відношення.

На рис. 7.3 зображена схема заміщення пружної системи заправки з комбінованим СННО.

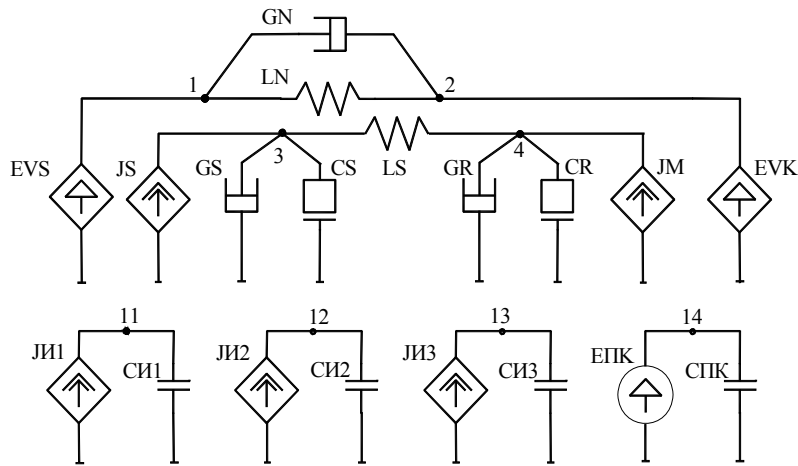


Рис. 7.3. Схема заміщення комбінованого ССННО у пружній системі заправки ОВМ

Призначення компонент наступне:

EVS – залежне джерело швидкості подачі нитки скалом ССННО;

JS – джерело сили дії нитки основи на скало ССННО;

GN – механічне демпфірування. Моделює дисипацію енергії нитками основи;

LN – механічна пружність. Моделює поступальну піддатливість ниток основи;

GS – механічне демпфірування. Моделює дисипацію енергії високочастотної складової СННО;

CS – маса. Моделює приведену масу рухомих елементів високочастотної складової;

LS – механічна пружність. Моделює поступальну піддатливість під скальних пружних елементів;

GR – механічне демпфірування. Моделює дисипацію енергії низькочастотної складової СННО;

CR – маса. Моделює приведену масу рухомих елементів низькочастотної складової;

JM – джерело сили ваги вантажу, приведені до скала СННО;

EVK – залежне джерело швидкості. Моделює швидкість споживання ниток основи 1–4-ї гармонік нелінійної складової функції споживання ниток основи або відхилення в ниткоподачі;

ЕПК – джерело переміщення. Моделює 1–4-ту гармоніки нелінійної складової функції споживання ниток основи або відхилення в ниткоподачі;

JI1, JI2, JI3, СИ1, СИ2, СИ3 – інтегратори.

Наведена схема заміщення універсальна. Приймаючи, що піддатливість пружин LS, розміщених під скалом, наближається до безмежності, отримуємо тільки низькочастотну складову комбінованого СННО. На основі схеми заміщення розроблено текст програми.

3. Числове моделювання низькочастотної складової комбінованого СННО в режимі циклових коливань натягу ниток основи. В процесі числового моделювання, в якості функції збурення, використано нелінійну складову функції вживання ниток основи верхньої основи при в'язанні переплетення “трико-сукно” на ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2”. Нелінійна складова описується чотирма гармоніками [27]. Заправка – віскозна нитка лінійною щільністю 8,33 текс.

Всі вхідні дані характерні для пружної системи заправки ОВМ моделі 5219 “Кокетт–2”, а саме:

– піддатливість 2500 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення” дорівнює 0,0000166 мм/Н;

– коефіцієнт в'язкого тертя віскозних ниток на ділянці “навій–зона петлеутворення” дорівнює 1 кг/с;

– приведена до ролика сила ваги вантажу, що забезпечує середній натяг однієї нитки основа порядку 4 сН дорівнює 100 Н.

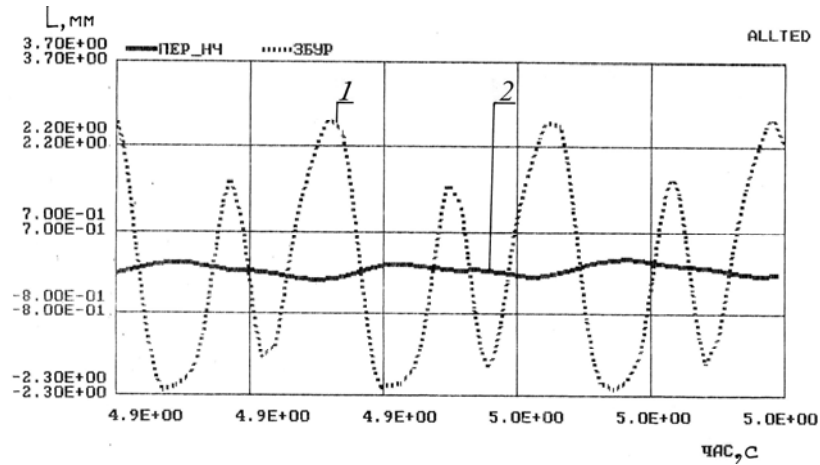
Дослідження вантажного ССННО показали, що значення коефіцієнта в'язкого тертя стабілізатора в значно меншій ступені впливає на “чутливість” до циклових коливань натягу ниток основи порівняно з приведеною масою рухомих елементів, при цьому рекомендовано встановлювати значення коефіцієнта в'язкого тертя порядку 40 кг/с.

Керуючись цим, прийнято значення коефіцієнта в'язкого тертя низькочастотної складової стабілізатора $GR = 40$ кг/с.

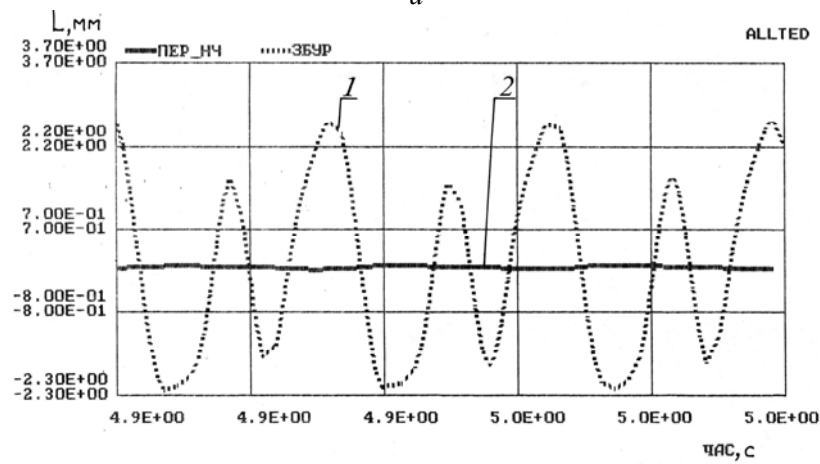
Для оцінки впливу приведеної маси рухомих елементів низькочастотної складової СННО на “чутливість” до циклових коливань натягу ниток основи прийнято, що приведена маса змінюється від 5 до 120 кг. Межі швидкісних режимів роботи ВМ (від 1200 до 3000 петельних рядків на хвилину) охоплюють існуючі і перспективні швидкості в'язання.

На рис. 7.4 наведено приклади циклограм функцій збурення (крива 1) і коливань скала комбінованого СННО (крива 2) при двох

значеннях приведеної маси ($m_{np} = 10$ кг; $m_{np} = 40$ кг) і швидкості в'язання – 1800 петельних рядів на хвилину.



а



б

Рис. 7.4. Циклограми функції збурення (1) та коливань скала (2):
а – при $m_{np}=10$ кг; б – при $m_{np} = 40$ кг

Використовуючи вираз показника чутливості СННО до високочастотних коливань ε' (2.43), визначені і занесені в таблицю 7.1 його значення для чотирьох значень швидкості в'язання.

**Показник чутливості низькочастотної складової СННО
до високочастотних коливань натягу ниток основи (%)**

Приведена маса низькочастотної складової, кг	Швидкість в'язання, петельних рядків на хвилину			
	1200	1800	2400	3000
1	179,56	136,00	48,44	27,33
5	37,78	13,78	7,47	4,89
10	15,56	5,89	3,60	2,40
20	6,89	3,02	1,73	1,18
30	4,55	2,52	0,88	0,78
40	3,38	1,52	1,20	0,62
50	2,69	1,19	0,70	0,47
80	1,44	0,72	0,42	0,30
120	1,03	0,53	0,28	0,19

На основі отриманих результатів, зроблено ряд висновків:

– при збільшенні значень приведеної маси низькочастотної складової стабілізатора, “чутливість” комбінованого СННО до циклових коливань натягу ниток основи зменшується. Починаючи з значень приведеної маси порядку 30–40 кг, зменшення коефіцієнта ε' при збільшенні значень приведеної маси сповільнюється;

– “чутливість” низькочастотної складової комбінованого СННО до циклових коливань натягу ниток основи залежить від швидкості в'язання. Так при збільшенні швидкості в'язання з 1200 до 3000 петельних рядків за хвилину коефіцієнт ε' , при інших рівних умовах, зменшується в 5–10 разів;

– раніше прийняте припущення про “нечутливість” низькочастотної складової СННО до циклових коливань натягу ниток основи, за рахунок встановлення відповідних значень коефіцієнта в'язкого тертя низькочастотної складової стабілізатора і приведеної маси низькочастотної складової, практично виконуються;

– для досягнення стану “нечутливості” низькочастотної складової СННО до циклових коливань натягу ниток основи, в якості прикладу, рекомендовано наступні параметри – приведена маса $CR = 40$ кг, коефіцієнт в'язкого тертя $GR = 40$ кг/с.

4. Дослідження комбінованого СННО в режимі циклових коливань натягу ниток основи. В режимі циклових коливань натягу ниток основи комбінований СННО виконує функції СДННО, при цьому низько-

частотна складова стабілізатора “нечутлива” до збурень, а стабілізацію динамічного натягу ниток основи забезпечує високочастотна складова.

Для оцінки ефективності роботи комбінованого СННО, як СДННО, використано показник ступеня стабілізації динамічної складової натягу ниток основи β (2.44).

В якості функції збурення, використано нелінійну складову функції споживання ниток верхньої основи при в’язанні переплетення “трико-сукно” на ОВМ моделі 5219 “Кокетт-2”. Нелінійна складова описується чотирма гармоніками [27]. Заправка – віскозна нитка лінійною щільністю 8,33 текс.

Усі вхідні дані характерні для пружної системи заправки ОВМ моделі 5219 “Кокетт-2”, а саме:

- піддатливість 2500 ниток основи на ділянці “навій-зона петлеутворення” дорівнює 0,0000166 мм/Н;
- коефіцієнт в’язкого тертя віскозних ниток на ділянці “навій-зона петлеутворення” дорівнює 1 кг/с;
- приведена до ролика сила ваги вантажу, що забезпечує середній натяг одної нитки основи порядку 4 сН, дорівнює 100 Н.

Параметри низькочастотної складової вибрані з умови “нечутливості” низькочастотної складової комбінованого СННО до циклових коливань натягу ниток основи – приведена маса $CR = 40$ кг, коефіцієнт в’язкого тертя $GR = 40$ кг/с.

Параметри високочастотної складової, яка безпосередньо виконує функцію СДННО, взяті в межах, що охоплюють значення сучасних і перспективних зразків пасивних СДННО:

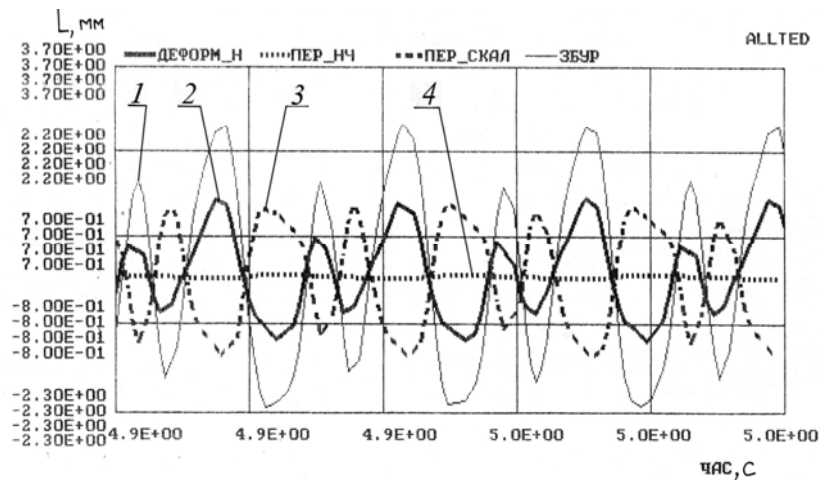
- приведена маса CS змінюється від 0,1 до 0,3 кг;
- коефіцієнт в’язкого тертя GS змінюється від 5 до 10 кг/с.

Для обчислень була розроблена програма. На рис. 7.6, як приклад, наведено циклограми збурюючої функції – нелінійна складова функції споживання ниток основи (крива 1), деформації ниток основи (крива 2), переміщення скало (крива 3), переміщення приведеної маси низькочастотної складової (крива 4) при швидкості в’язання 1800 петельних рядків за хвилину, при цьому коефіцієнт в’язкого тертя $GS = 10$ кг/с, а приведена маса дорівнює: $CS = 0,1$ кг, $CS = 0,5$ кг (рис. 7.5, а, б).

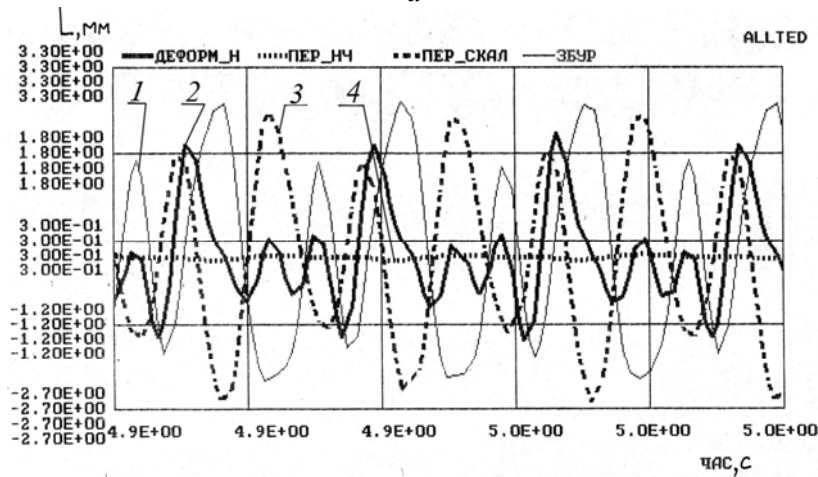
Результати обчислень ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи наведено у таблиці 7.2.

Аналіз отриманих результатів показує, що в режимі циклових коливань натягу ниток основи СННО забезпечує, як для пасив-

них СННО, досить високий ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи. Значення приведеної маси високочастотної складової суттєво впливає на ефективність роботи, при цьому при зменшенні приведеної маси ступінь стабілізації динамічного натягу ниток збільшується.



а



б

Рис. 7.5. Результат чисельного моделювання СННО в режимі циклових коливань: а – $m_{пр} = 0,1$ кг; б – $m_{пр} = 0,5$ кг

Значення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при різних коефіцієнтах в'язкого тертя високочастотної складової

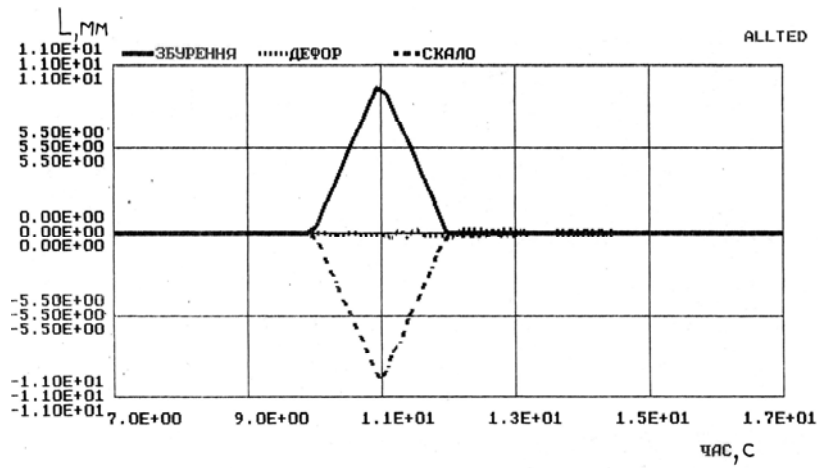
Приведена маса високочастотної складової, кг	Швидкість в'язання, петельних рядів на хвилину			
	1200	1800	2400	3000
GS = 5 кг/с				
0,01	49,78	49,55	50,44	52,67
0,1	52,44	54,22	52,44	50,67
0,2	55,77	48,00	45,33	24,44
0,3	44,19	40,00	21,48	-1,11
0,5	37,78	18,00	-17,18	-4,44
GS = 10 кг/с				
0,01	49,78	50,22	48,89	52,78
0,1	52,14	54,67	51,18	49,11
0,2	54,11	49,18	44,00	24,48
0,3	42,89	40,89	23,11	1,18
0,5	39,11	17,51	-14,66	-4,00

Оптимальне значення приведеної маси високочастотної складової близьке до величини порядку 0,1 кг, подальше її зменшення веде до незначного збільшення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи.

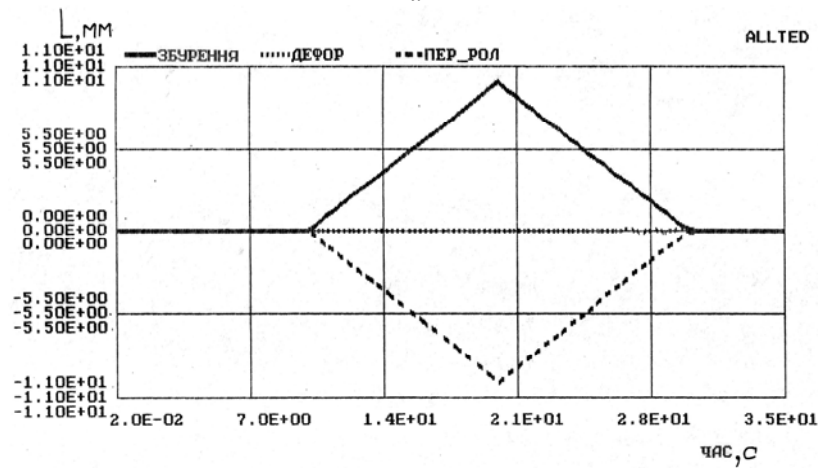
5. Дослідження комбінованого СННО в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи. В основу досліджень комбінованого СННО в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи покладено визначення ступеня стабілізації середнього натягу α (2.37) в раніше визначених чотирьох якісно-часових режимах.

Дослідження комбінованого СННО в режимі міжциклових коливань натягу ниток основи базуються на тому, що низькочастотна складова комбінованого СННО практично нечутлива до циклових коливань натягу ниток основи. Для цього прийнято, що коефіцієнт в'язкого тертя $GR = 40$ кг/с, а приведена маса вантажного ССННО CR змінюється з 20 до 50 кг. Для проведення вказаних числових обчислень використано розрахункову програму з відповідними вхідними даними.

На рис. 7.6 наведено графіки зміни деформації ниток основи при першому і другому якісно-часових режимах подачі основи при коефіцієнті в'язкого тертя $GR = 40$ кг/с і приведеній масі низькочастотної складової СННО $CR = 40$ кг.



а



б

Рис. 7.6. Результат чисельного моделювання при якісно-часовому режимі:
а – першому; б – другому

Використовуючи вираз (2.37), для всіх чотирьох якісно-часових режимів, визначено значення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи a , значення яких представлено в таблиці 7.3

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що комбінований СННО забезпечує в пружній системі заправки ВМ високий ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи (до

99 %), при цьому значення приведеної маси в робочому діапазоні (від 20 до 50 кг) не суттєво впливає на ефективність роботи комбінованого СННО, як ССННО.

Таблиця 7.3

**Значення показника ступеня стабілізації
середнього натягу ниток основи для комбінованого СННО (%)**

Приведена маса низькочастотної складової СННО, кг	Якісно-часовий режим відхилень у подачі ниток основи			
	перший	другий	третій	четвертий
20	97,98	99,68	99,93	99,99
30	97,89	99,58	99,94	99,99
40	95,77	99,46	99,94	99,99
50	96,83	99,36	99,94	99,99

Аналітичні дослідження комбінованого СННО показали, що при робочих і перспективних швидкостях в'язання стабілізатор забезпечує стабілізацію динамічного натягу ниток основи на рівні порядку 50 % і стабілізацію середнього натягу ниток основи на рівні порядку 99 %.

Для оцінки достовірності результатів аналітичних досліджень виконано цикл експериментальних досліджень.

7.3. Експериментальні дослідження комбінованого СННО

Метою експериментальних досліджень комбінованого СННО є перевірка достовірності результатів аналітичних досліджень в умовах, максимально наближених до виробничих.

7.3.1. Методика проведення експерименту

В основу експериментальних досліджень комбінованого СННО покладено визначення ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи (2.37), і показника ступеня стабілізації динамічної складової натягу ниток основи (2.44) при встановленні комбінованого СННО на стенді, який моделює його роботу в системі пружної заправки ВМ, характерній для провідних машинобудівних фірм “Ліба”, “К. Майер”, “Текстима”, “Малімо” (Німеччина). На стенді передбачено варіант моделювання пружної системи заправки ОВМ

із заводським варіантом стабілізатора і при відсутності стабілізатора, як це передбачено при визначенні показників α (2.37) і β (2.44).

На рис. 7.7 зображено, змонтовану на стенді, систему пружної заправки ОВМ із запропонованим комбінованим СННО. Система включає ротаційний модулятор високочастотних коливань 1, комбінований СННО 2, модулятор відхилень в подачі ниток з навою 3, фіксатор кута повороту головного вала 4, тахометр 5, електродвигун 6. В якості ниток основи на стенді використано шнур 7, жорсткість якого еквівалентна жорсткості 50 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення”.

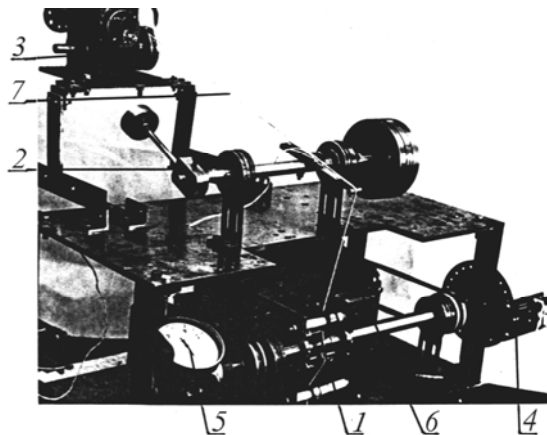


Рис. 7.7. Модель пружної системи заправки ОВМ з комбінованим СННО

На рис. 7.8 зображена, змонтована на стенді, система пружної заправки ОВМ “Кокетт–Е2”.

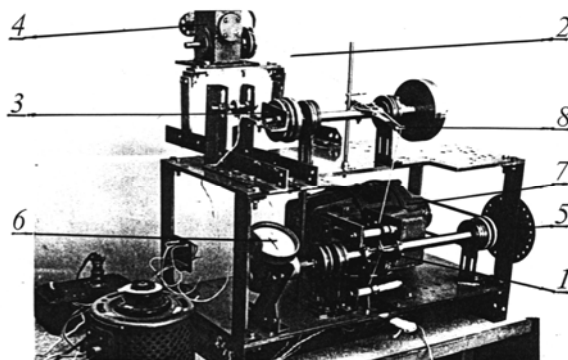


Рис. 7.8. Модель пружної системи заправки ОВМ “Кокетт–Е2”

Система включає ротаційний модулятор високочастотних коливань 1, шнур 2, що моделює жорсткість 50 ниток основи на ділянці “навій–зона петлеутворення”, СННО 3, характерний для ОВМ “Кокетт–Е2”, модулятор 4 відхилень в подачі ниток з навою, фіксатор кута повороту головного вала 5, тахометр 6, електро-двигун 7. В випадку жорсткої фіксації скала 8, змонтована система пружної заправки представляє собою систему без використання СННО. Частота обертання головного вала при запису осцилограм натягу ниток основи відповідає трьом значенням швидкості в’язання, а саме 1200 і 2400 петельних рядів на хвилину.

Процес відхилення в подачі ниток з навою відповідає другому якісно-часовому варіанту, в якому додаткова подача 10 мм основи з навою проходить за лінійним законом за 10 секунд, потім після паузи (порядку 10 с) за 10 секунд за лінійним законом проходить вибірка 10 мм ниток основи.

7.3.2. Обробка результатів експерименту

Розрахунок довірчих границь ординат розмахів коливань натягу ниток проведено за методикою, описаною у [320], з використанням малої вибірки. Число циклів для обробки вибрано таким чином, щоб довірчі границі були значно менші максимальних відхилень кривих і прийнято для кожного варіанта рівним п’яти. Розмах варіювання для більшості значень розмахів коливань натягу ниток з п’яти замірів був не більше 0,5 сН і прийнято рівним цьому значенню. За вказаними вхідними даними розраховані довірчі границі середніх арифметичних значень розмахів коливань натягу ниток точок заміру $x = \bar{x} \pm 0,11$ сН при імовірності $P = 0,95$.

На рис. 7.9 наведені осцилограми коливань натягу ниток при відсутності в пружній системі заправки СННО (рис. 7.9, а), при використанні СННО ОВМ “Кокетт-Е2” (рис. 7.9, б) і запропонованого комбінованого СННО (рис. 7.9, в).

Швидкість в’язання 1200 петельних рядів на хвилину. На представлених осцилограмах розмахи циклових коливань натягу ниток основи виділені значеннями B_1 , B_2 , B_3 , а відхилення від середнього значення A_1 , A_2 і A_3 .

У таблиці 7.4 наведені значення показників α та β для СННО ОВМ “Кокетт-Е2” і комбінованого СННО при різних швидкостях в’язання. Експериментальні дослідження підтверджують достовірність аналітичних досліджень – максимальна відносна похибка результатів аналітичних досліджень при визначенні ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи не перевищує 2,5 %.

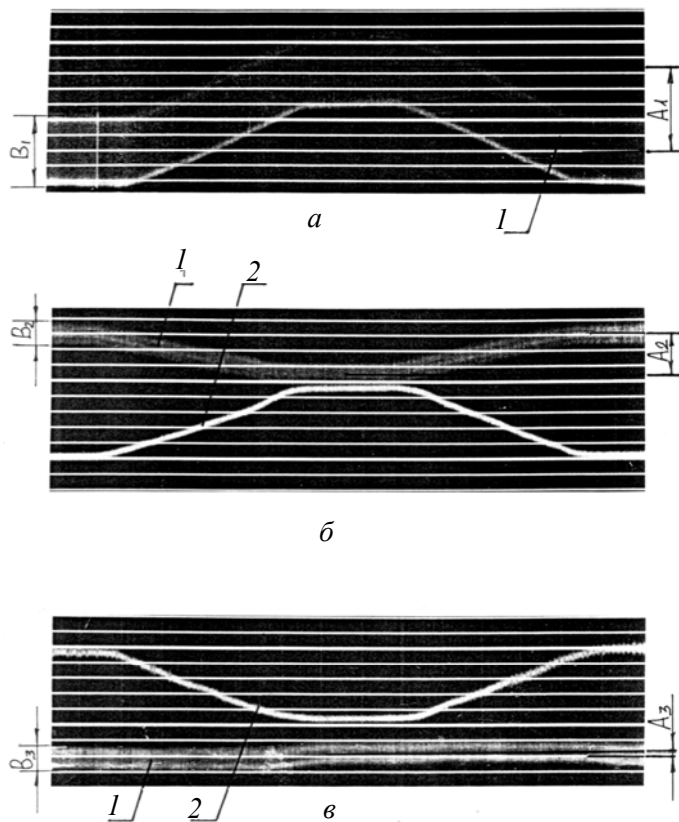


Рис. 7.9. Запис коливань натягу ниток основи (крива 1), переміщення скала (крива 2) для частоти обертання головного вала 1200 хв⁻¹:
 α – при відсутності СННО, β – при використанні СННО
 ВМ “Кокетт–Е2”, ϵ – при використанні вантажного ССННО

Таблиця 7.4

Результати експериментального визначення показників α та β для СННО ОВМ “Кокетт–Е2” і комбінованого СННО

Вид стабілізатора	Показник ефективності СННО	Швидкість в'язання петельних рядів на хвилину		
		1200	1800	2400
СННО ВМ	α , %	52,4	52,3	52,4
“Кокетт–Е2”	β , %	50,0	53,0	49,8
Вантажний	α , %	97,3	97,3	97,8
ССННО	β , %	55,5	54,1	50,3

Порівняно з СННО ОВМ “Кокетт–Е2”, запропонований комбінований ССННО дозволяє практично повністю ліквідувати коливання середнього натягу ниток основи при різних відхиленнях у подачі ниток основи.

Висновки

1. На основі аналізу тенденцій удосконалення пасивних ССННО і СДННО, запропоновано перспективний напрям створення принципово нових комбінованих СННО, що поєднують в собі високочастотну і низькочастотну складові і забезпечують широкі параметричні можливості стабілізації середнього і динамічного натягу ниток основи.

2. Запропонована математична модель статичної дії комбінованого СННО на нитки основи, використовуючи яку, розроблено програму оптимізації конструктивних параметрів низькочастотної складової стабілізатора.

3. Показано, що запропонований комбінований СННО має можливості підтримання відносного коливання середнього натягу ниток основи на рівні 0,5 % при умові “нечутливості” низькочастотної складової до циклових коливань натягу ниток основи.

4. Динамічні дослідження комбінованого СННО проведені з використанням автоматизованої системи проектування та дослідження приводів і динамічних систем ПРАНС-ПК. Встановлені умови досягнення відносної “нечутливості” низькочастотної скла-

дової СННО до циклових коливань натягу ниток основи при високому ступені чутливості до міжциклових коливань натягу ниток.

5. У результаті оптимізації конструктивних параметрів комбінованого СННО доведена можливість досягнення 99 % рівня ступеня стабілізації середнього натягу ниток основи при можливих відхиленнях в їх подачі та 50 % рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при швидкості в'язання в діапазоні 1200–2400 петельних рядів на хвилину.

6. Експериментальні дослідження запропонованого комбінованого СННО на універсальному стенді довели його переваги. Так, при 50–55 % рівні стабілізації середнього натягу ниток основи відомих СННО, комбінований СННО забезпечує 97 % і вище рівень стабілізації середнього натягу ниток основи. Показано, що похибка результатів аналітичних досліджень не перевищує 2,39 %.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ СДННО

На сучасних ВМ встановлюються в основному пасивні СННО, що і визначило пріоритетність досліджень, які показали, що за рахунок нових конструктивних рішень і оптимізації робочих параметрів можна підвищити ефективність роботи СННО, а саме:

– ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи довести до рівня 50–55 % при швидкостях в'язання 2400–2800 петельних рядів за хвилину;

– ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи довести до рівня 97–99 % при різних режимах роботи ВМ і відхиленнях у процесі подачі ниток основи.

Якщо ступінь стабілізації середнього натягу ниток основи доведена до рівня близького до максимально можливого – 100 % і різниця складає 1–3 %, то різниця між досягнутим рівнем ступеня стабілізації динамічного натягу 45–50 % і максимально можливою (100 %) досягає 45–50 %. Подальше підвищення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи обмежено конструктивними можливостями пасивних СДННО, в конструкції яких використано пружний елемент, приведена жорсткість якого відповідає приведеній жорсткості ниток основи. Таке обмеження не розповсюджується на активні СННО. Результати експериментально-аналітичних досліджень показали можливість досягнення високого рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при встановленні на ВМ активних СДННО [27, 252, 254, 255]. Розроблений на основі експериментально-аналітичних досліджень [254, 255], ротаційний СДННО [63] дозволив досягти 75 % рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи.

Експериментальні дослідження [255], промислові випробування [27], впровадження ротаційного СДННО на Ризькій трикотажній фабриці “Мара” підтвердили перспективність напрямку створення активних СДННО.

Трирівнева класифікація СННО показала можливість існування низки перспективних конструкцій активних СДННО, можливості яких не досліджено, що обмежує їх впровадження при модернізації і проектуванні ВМ [126]. Розглянемо найбільш перспективні конструкційні рішення в області стабілізації натягу ниток основи.

8.1. Ротаційні СДННО

8.1.1. Конструктивні особливості ротаційних СДННО

Основою для оцінки можливостей ротаційних СДННО і створення нових конструкцій є раніше розроблений варіант стабілізатора [63].

Удосконалення ротаційних СДННО спрямовано на підвищення ефективності і розширення технологічних можливостей.

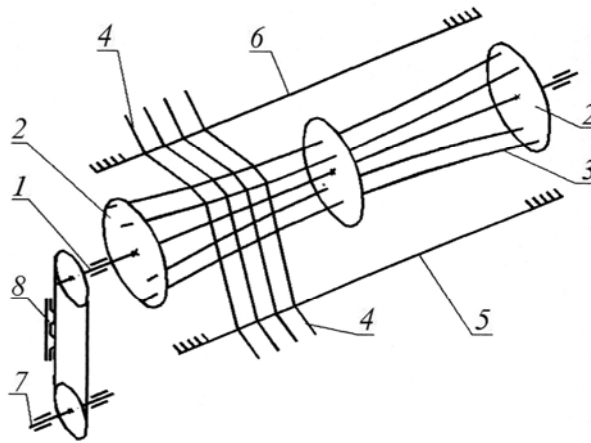


Рис. 8.1. Ротаційний СДННО

На рис. 8.1, а зображена принципова схема ротаційного СДННО, що дозволяє проводити не тільки стабілізацію динамічного натягу ниток основи, а і підвищувати рівномірність петельної

структури по ширині заправки ВМ[189]. Стабілізатор включає вал 1, на якому жорстко закріплені диски 2, в яких зафіксовані стрижні 3, при цьому вал з'єднано з головним валом 4 зубчато-пасовою передачею 5. Нитки основи 6 підводяться до стрижнів напрямними балочками 7 та 8.

В період роботи ВМ, при обертанні напрямних стрижнів 3 навколо осі вала 1 довжина відрізка ниток 6 між нерухомими балочками 7 та 8 змінюється відповідно до витрати ниток основи в зоні петлеутворення, при цьому, при віддаленні від середини вала 1 до його країв розмахи коливань функції подачі основи збільшуються, що приводить до збільшення рівномірності петельної структури по ширині.

Розширення функціональних можливостей ротаційних СДННО привело до створення пристроїв з хвилеподібною дією на нитки основи. На рис. 8.2 зображена принципова схема ротаційного СДННО з хвилевою дією на нитки основи [188]. Стабілізатор складається з закріплених на валу 1 дисків 2, в отворах яких зафіксовано створюючі гвинтову поверхню стрижні 3, які огинаються нитками основи 4. Вони спрямовуються до стрижнів балочками 5 і 6, а вал 1 з'єднано з головним валом 7 зубчато-пасовою передачею 8.

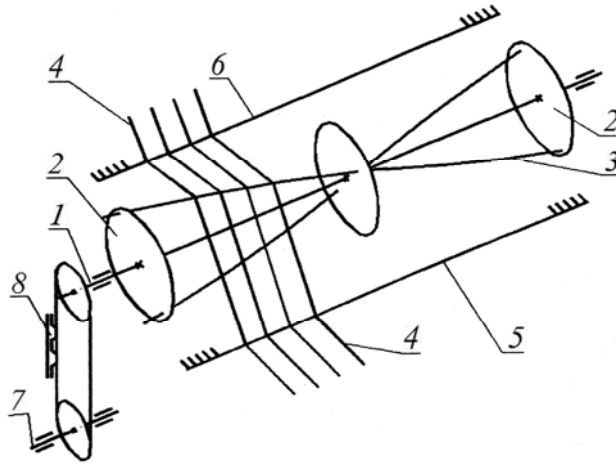


Рис. 8.2. Ротаційний СДННО

Ротаційний СДННО рекомендується для ткацьких верстатів з хвилеподібним рухомим поперек основи зівом, при цьому може бути використаний для створення ВМ з хвилеподібним процесом створення петель.

Практика проектування СННО в'язальних машин показала, що суттєве підвищення ефективності роботи ротаційних СДННО можливе за рахунок оптимізації їх робочих органів [5, 10, 13].

8.1.2. Оптимізація робочих параметрів ротаційних СДННО

Досягнутий ротаційним СДННО 75 % рівень ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи був отриманий на основі розробленої математичної моделі стабілізатора і програми оптимізації, реалізованої на малопотужній комп'ютерній техніці [27]. Аналіз сучасної комп'ютерної техніки показав можливість проводити оптимізацію конструктивних параметрів ротаційного СДННО в діалоговому режимі на основі отриманих аналітичних залежностей [254].

Використовуючи програму оптимізації, були визначені робочі параметри ротаційного СДННО і ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи при встановленні стабілізатора на верхній основі ОВМ моделі 5219 "Кокетт-2", при в'язанні переплетення "трико-сукно" (другий варіант зсуву гребінки [27, 251, 252]).

У результаті оптимізації, визначено робочі параметри ротаційного СДННО, які дозволяють досягнути 90 % рівня стабілізації.

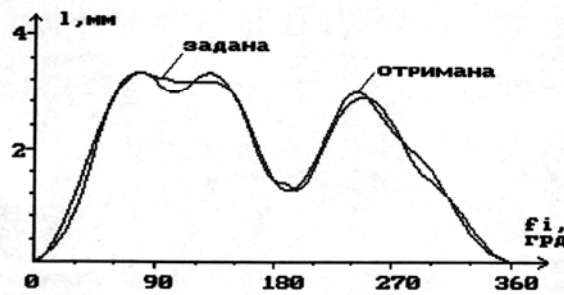


Рис. 8.3. Результати оптимізації робочих параметрів ротаційного СДННО: теоретична (задана) та дійсна (отримана) функції подачі ниток основи СДННО
На рис. 8.3 представлені графіки теоретичної і дійсної функції подачі ниток основи ротаційним СДННО.

Отримані значення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи не тільки підтверджують раніше зроблений висновок про високі можливості ротаційних СДННО, а й показують перспективи подальшого підвищення ефективності роботи ротаційних СДННО [27].

8.2. Гідравлічні СДННО

8.2.1. Конструктивні особливості гідравлічних СДННО

При виборі принципової схеми гідравлічного СДННО ставилась задача виконання низки вимог:

- мінімально можливі зміни конструкції ВМ;
- забезпечення достатньо високого (більше 70 %) ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи;
- забезпечення високого рівня безпеки експлуатації та екологічної чистоти гідравлічного СДННО.

На рис. 8.4 зображена принципова схема гідравлічного СДННО, де скало, що огинається нитками основи 2, закріплено кронштейнами 3 на підпружиненому валу 4, на кінці якого закріплено ротор 5 гідродвигуна 6, який трубопроводами 7 з'єднаний з гідророзподільником 8 і гідронасосом 9, при цьому кран 10 гідророзподільника 8 кінематично з'єднаний з головним валом 11 ОВМ [140]. В якості робочого середовища використано масло, що залито в картер 12.

В період роботи ОВМ, гідронасос 9 подає робочу рідину в гідродвигун 6 відповідно до команд гідророзподільника 8. Гідродвигун повертає підпружинений вал 4 проти і за годинниковою стрілкою, а разом з ним скало 1 в сторону і від зони петлеутворення, що викликає подачу або вибірку ниток основи 2 із зони петлеутворення.

Для представленої принципової схеми СДННО було розроблено декілька конструкцій гідродвигунів, новизна яких захищена авторськими свідоцтвами і патентами:

- неповноповоротний лопатевий (рис. 8.5) [140];
- неповноповоротний пластинчатий (рис. 8.6) [124];
- неповноповоротний поршневий (рис. 8.7) [141].

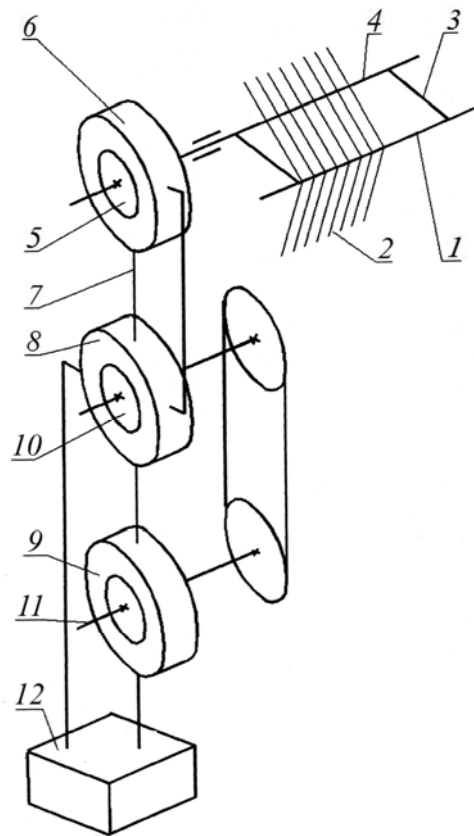


Рис. 8.4. Принципова схема гідравлічного СДННО

На рис. 8.5 наведена схема лопатевого гідродвигуна, що складається з корпусу 1, всередині якого встановлено лопатевий ротор 2, який утворює з перегородками 3 робочі камери 4 та 5. Робочі камери через отвори 6 і 7 з'єднані з гідророзподільником, а ротор 2 жорстко з'єднаний з валом для кріплення скала. При надходженні робочої рідини в камеру 4, ротор 2 повертає скало в бік зони петлеутворення і навпаки, при надходженні робочої рідини в камеру 5, ротор 2 повертає скало від зони петлеутворення, проводячи цим самим додаткову подачу і вибірку ниток основи.

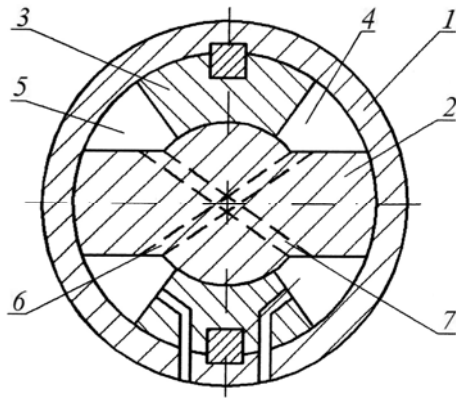


Рис. 8.5. Неповноповоротний лопатевий гідродвигун

На рис. 8.6 наведена схема пластинчатого гідродвигуна, що складається з корпусу 1, всередині якого встановлено вал 2 і пластини 3, 4, при цьому одною стороною пластини 3, 4 закріплені на валу 2, а другою стороною зафіксовані в корпусі 1 таким чином, що утворено робочі камери 5, 6, 7 і 8, які через отвори 9 з'єднані з гідросподільником. Вал 2 з'єднано з скалом. При надходженні робочої рідини в камери 5 та 7, вал 2 повертає скало в сторону зони петлеутворення і навпаки, при надходженні робочої рідини в камери 6 та 8, вал 2 повертає скало від зони петлеутворення, проводячи цим самим додаткову подачу і вибірку ниток основи.

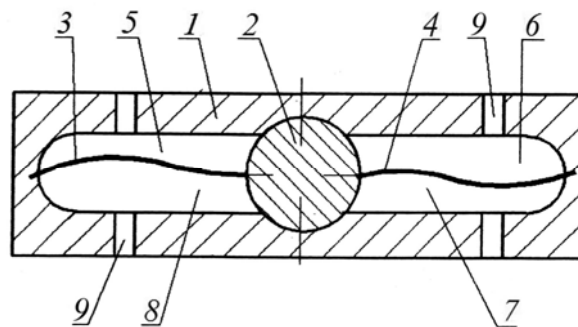


Рис. 8.6. Неповноповоротний пластинчатий гідродвигун

На рис. 8.7 наведена схема поршневого гідродвигуна, що складається з корпусу, виконаного в формі “криволінійних” гідроциліндрів 1 та 2, всередині яких встановлені поршні 3 і 4, які з’єднані через криволінійний шток 5 і кронштейн 6 з валом 7, на якому закріплено скало. При надходженні робочої рідини в камеру 8, вал 7 повертає скало в сторону зони петлеутворення і навпаки, при надходженні робочої рідини в камеру 9, вал 7 повертає скало від зони петлеутворення, проводячи цим самим додаткову подачу і вибірку ниток основи.

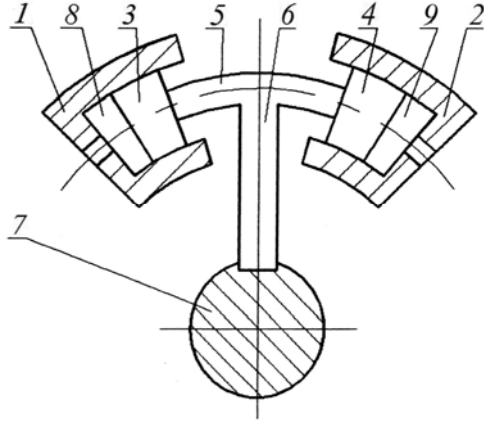


Рис. 8.7. Неповноповоротний поршковий гідродвигун

Аналіз конструкцій гідравлічних двигунів, розроблених для СДННО, показує, що найбільш прийнятним є лопатевий. Так, відносно пластинчатого гідродвигуна він забезпечує більш високу ступінь герметичності між робочими камерами, а відносно поршневого двигуна є більш простим і надійним.

При розробці гідророзподільника враховувалась необхідність забезпечення циклічності процесу гідророзподілу, при цьому період циклу може досягати 0,02 секунди (швидкість в'язання 3000 петельних рядів на хвилину), а всередині циклу формування дворазової подачі рідини різного об'єму і зі зміщенням фаз. Забезпечення означених вимог можливе при використанні оригінальної конструкції кранового гідророзподільника, новизна якого захищена патентом [140].

На рис. 8.8 зображена схема кранового гідророзподільника, що складається з корпусу 1, всередині якого встановлено кран 2, що кінематично зв'язаний з головним валом ОВМ. У корпусі 1 виконано отвори 3, 4, 5, 6 для з'єднання гідророзподільника з напірною магістраллю, споживачем (гідродвигуном) і зливною лінією. На циліндричній поверхні крана 2 виконано дві лиски, що забезпечують проходження рідини між отворами 3, 4, 5, 6.

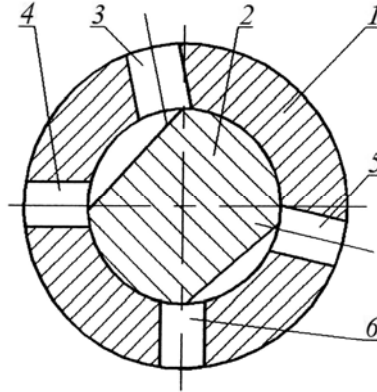


Рис. 8.8. Крановий гідророзподільник

При обертанні крана 2 відбувається циклічно повторювальна подача робочої рідини до споживача (гідродвигун). Виконання лисок різної величини забезпечує різну за величиною подачу робочої рідини всередині циклу, а зміщення одної лиски відносно іншої забезпечує зміщення по фазі подачі робочої рідини всередині кожного циклу.

Для підвищення швидкодії гідравлічного СДННО, гідророзподільювач і гідродвигун виконані в одному корпусі, утворюючи тим самим привід СДННО. При такому виконанні максимально зменшується довжина трубопроводу між гідророзподільником і гідродвигуном, що дозволяє збільшити швидкість гідравлічного СДННО.

8.2.2. Експериментальні дослідження гідравлічних СДННО

Для оцінки можливостей гідравлічних СДННО було виконано експериментальні дослідження. На основі розрахунку основних робочих параметрів гідравлічного СДННО, було виготовлено експериментальний зразок лопаткового приводу СДННО, встанов-

лення якого на універсальному стенді дозволяє створити експериментальний зразок всього гідравлічного СДННО (див. рис. 2.7) [143].

На рис. 8.9 зображено експериментальний зразок приводу гідравлічного СДННО, в корпусі 1 якого встановлені крановий гідророзподільник 2 і неповноповоротний гідродвигун 3.

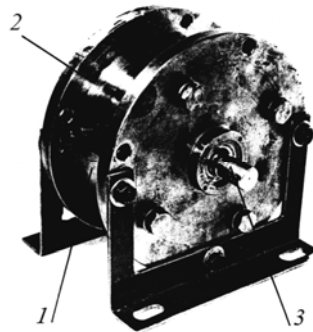


Рис. 8.9. Експериментальний зразок приводу гідравлічного СДННО

На рис. 8.10 зображені основні елементи кранового гідророзподільника: корпус 1, всередині якого встановлено кран 2, ущільнення 3, кришка 4.

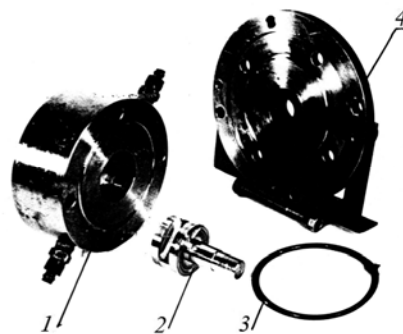


Рис. 8.10. Основні елементи кранового гідророзподільника

На рис. 8.11 зображено основні елементи неповноповоротного гідродвигуна: корпус гідродвигуна 1, всередині якого встановлені корпус 2 для лопаті 3, вал 4 та кришка 5.

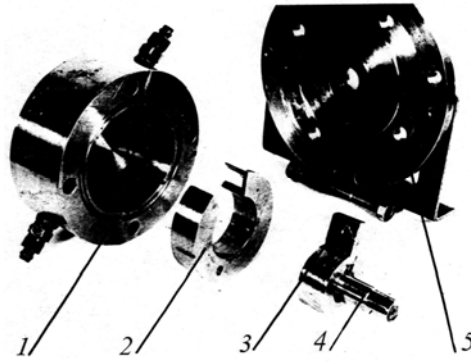


Рис. 8.11. Основні елементи неповноповоротного гідродвигуна

1. Методика проведення експерименту. В основу експериментальних досліджень гідравлічного СДННО покладено визначення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (2.44). Для визначення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи необхідно мати значення максимальних розмахів коливань натягу ниток основи при використанні СДННО і при його відсутності.

Для отримання порівняльної оцінки ефективності роботи гідравлічного СДННО, в процесі досліджень проводився також запис натягу ниток при використанні відомих пасивних СДННО. Таким чином, запис натягу ниток проводився в трьох варіантах:

- 1) СДННО відсутній;
- 2) стабілізація натягу забезпечується гідравлічним СДННО;
- 3) стабілізація натягу забезпечується пасивним СДННО.

Запис осцилограм натягу ниток основи (на стенді використано пас) проводився при трьох швидкісних режимах – 1000, 2000, 3000 хв^{-1} . Закон збурення на стенді формувався ротаційним пристроєм, характерним для ОВМ та ВПМ.

2. Обробка результатів експерименту. Розрахунок довірчих границь значень розмахів коливань натягу ниток проведено за методикою, описаною у роботі [320], з використанням малої вибірки. Число оброблювальних циклів вибрано таким чином, що довірчі границі стали значно меншими максимальних значень відхилень кривих, і прийнято рівним п'яти. Розмах варіювання для більшості значень розмахів коливань натягу ниток основи з п'яти

замірів виявився не більше 0,5 сН і прийнятий рівним цьому значенню. За вказаними вхідними даними розраховано довірчі границі середніх арифметичних значень розмахів коливань натягу ниток $X = \bar{X} \pm 0,11$ сН при імовірності $P = 0,95$.

На рис. 8.12, в якості прикладу, представлено осцилограми коливань натягу ниток для трьох варіантів стабілізації.

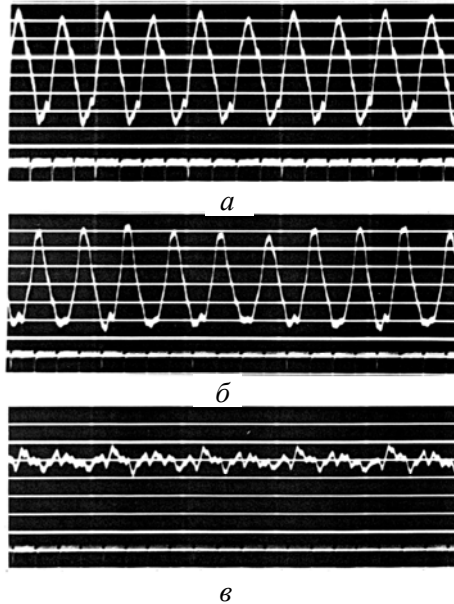


Рис. 8.12. Запис коливань натягу ниток основи при різних варіантах стабілізації:
a – відсутність СДННО; *б* – використання пасивного СДННО;
в – використання гідравлічного СДННО

У першому варіанті СДННО відсутній (рис. 8.12, *a*), в другому використано пасивний СДННО (рис. 8.12, *б*), в третьому – гідравлічний СДННО (рис. 8.12, *в*), при частоті обертання головного валу 3000 хв^{-1} . На основі отриманих осцилограм побудовано графічні залежності (рис. 8.13) ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного валу при встановленні на стенді пасивного СДННО (крива 1) і гідравлічного СДННО (крива 2).

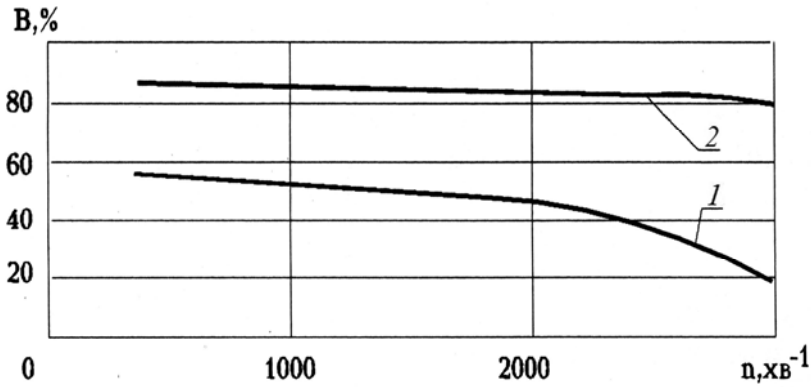


Рис. 8.13. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного вала

З графіків видно, що встановлення гідравлічного СДННО на ОВМ і ВПМ дає можливість довести ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи до рівня 80 % при швидкості в'язання 3000 петельних рядів за хвилину, при цьому ефективність роботи пасивних СДННО залежить від швидкості в'язання, і при збільшенні частоти обертання головного валу з 1000 до 3000 хв^{-1} знижується з 50–60 % до 20–30 %.

Проведення експериментальних досліджень гідравлічного СДННО показало тільки перспективність напрямку використання цих пристроїв. Для кінцевої відповіді необхідно продовжити експериментально-аналітичні дослідження.

8.3. Пневматичні СДННО

8.3.1. Конструктивні особливості

Розглянуті раніше конструкції гідравлічних СДННО можуть бути перетворені на пневматичні СДННО шляхом заміни рідинного робочого середовища на газоподібне. В цьому випадку, в якості джерела стиснутого повітря, можуть бути використані фабричні пневмомагістралі, що спрощує конструкції пристроїв.

Конструкції пневматичних СДННО суттєво спрощуються при використанні мембранних пневмодвигунів [125].

На рис. 8.14 зображена схема мембранного двигуна пневматичного СДННО, що складається з пневмоциліндрів 1 та 2, на яких закріплені мембрани 3 та 4, які через дугоподібну стяжку 5 і кронштейни 6 з'єднані зі скальним валом 7. Пневмоциліндри разом з мембранами створюють робочі камери 8 та 9. Управління пневмодвигуном проводиться крановим пневморозподільником.

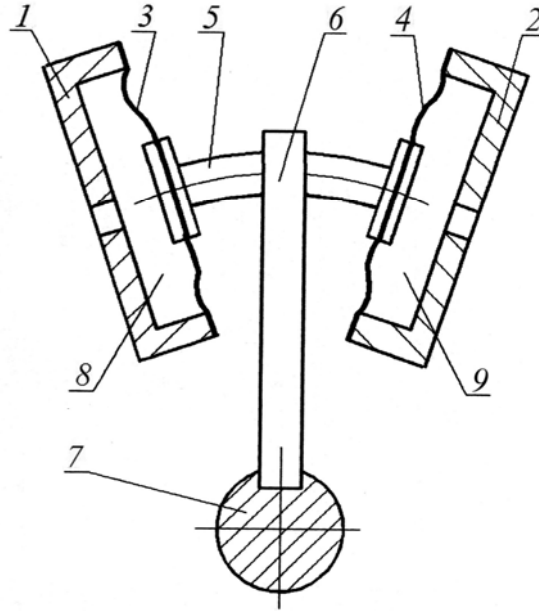


Рис. 8.14. Мембранний двигун пневматичного СДННО

У період інтенсивної витрати в зоні петлеутворення ниток основи в порожнину 8 подається стиснуте повітря, мембрана 3 через стяжку 5, кронштейн 6 і вал 7 переміщує скало в сторону зони петлеутворення, забезпечуючи тим самим додаткову подачу ниток основи і попереджує збільшення натягу ниток основи.

В періоди появи надлишку ниток основи в зоні петлеутворення в порожнину 9 подається стиснуте повітря, мембрана 4 через стяжку 5, кронштейн 6 і вал 7 переміщує скало від зони петле-

утворення, забезпечуючи тим самим додаткову вибірку ниток основи, попереджуючи зменшення натягу ниток основи. Таким чином забезпечується стабілізація натягу ниток основи.

8.3.2. Експериментальні дослідження пневматичних пристроїв стабілізації натягу ниток основи

Для оцінки можливостей пневматичних СДННО були проведені експериментальні дослідження. З раніше розглянутих конструкцій пневматичних СДННО для експериментальних досліджень вибрана конструкція стабілізатора з лопатевим пневмодвигуном і крановим розподілювачем, які встановлені в одному корпусі, що максимально зменшує вплив довжини трубопроводу на швидкодію пристрою [140].

Розроблений стенд для експериментальних досліджень дозволяє проводити дослідження пневматичних СДННО в умовах максимально наближених до виробничих і в швидкісних режимах сучасних і перспективних ВМ.

1. Методика проведення експерименту. В основу експериментальних досліджень пневматичного СДННО покладено визначення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (2.44). Для визначення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи необхідно оперувати значеннями максимальних розмахів натягу ниток основи при використанні СДННО і при його відсутності.

Для отримання порівняльної оцінки ефективності роботи пневматичного СДННО, в процесі досліджень проводився також запис натягу ниток основи при використанні відомих пасивних СДННО. Таким чином, запис натягу проводився для трьох варіантів:

- 1) СДННО відсутній;
- 2) стабілізація натягу забезпечується пневматичним СДННО;
- 3) стабілізація натягу забезпечується пасивним СДННО.

Запис осцилограм натягу ниток основи (у стенді використано пас) проводився для чотирьох швидкісних режимів – 600, 900, 1200, 1500 хв⁻¹. Закон збурення на стенді формувався ротаційним пристроєм, що вибраний характерним для ОВМ та ВПМ.

2. Обробка результатів експерименту. Розрахунок довірчих границь значень розмахів коливань натягу ниток проведено за методикою, описаною у роботі [320], з використанням малої вибірки. Число оброблювальних циклів вибрано таким чином, що

довірчі границі стали значно меншими максимальних значень відхилень кривих, і прийнято рівним п'яти. Розмах варіювання для більшості значень розмахів коливань натягу ниток основи з п'яти замірів виявився не більше 0,5 сН і прийнятий рівним цьому значенню. За вказаними вхідними даними розраховано довірчі границі середніх арифметичних значень розмахів коливань натягу ниток $X = \bar{X} \pm 0,11$ сН при імовірності $P = 0,95$.

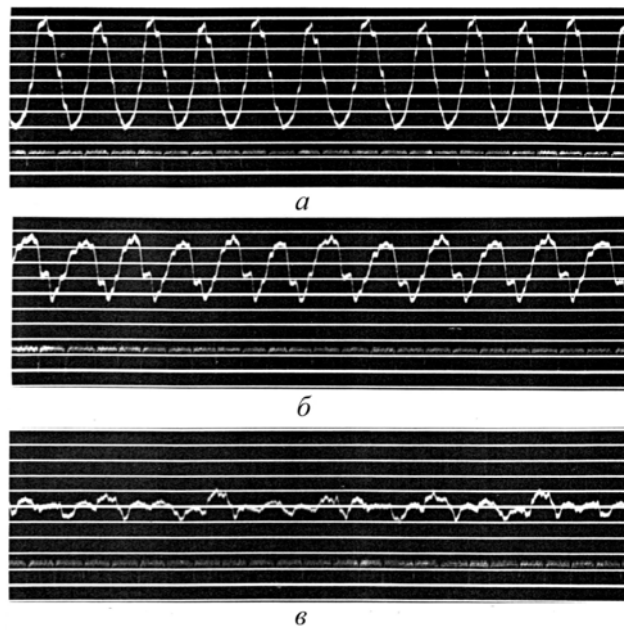


Рис. 8.15. Запис коливань натягу ниток основи для різних варіантів стабілізації

На рис. 8.15, в якості прикладу, представлені осцилограми коливань натягу ниток при різних варіантах стабілізації – СДННО в заправці відсутній (рис. 8.15, а), застосування пасивного СДННО (рис. 8.15, б), застосування пневматичного СДННО (рис. 8.15, в) при частоті обертання головного валу 1200 хв^{-1} .

На основі отриманих осцилограм побудовані графіки (рис. 8.16), що відображають залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного валу

при встановленні на стенді пасивного СДННО (крива 1) і пневматичного СДННО (крива 2). З результатів експериментальних досліджень видно, що пневматичні СДННО дозволяють підтримувати високий ступінь стабілізації динамічного натягу ниток основи (до 80–82 %) тільки в області низьких швидкісних режимів – при частоті обертання головного валу до 1200–1300 хв^{-1} . Подальше підвищення частоти обертання головного валу ВМ веде до різкого зменшення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи, що пояснюється особливістю роботи пневматичних пристроїв – відносно низька швидкість порівняно з гідравлічними пристроями.

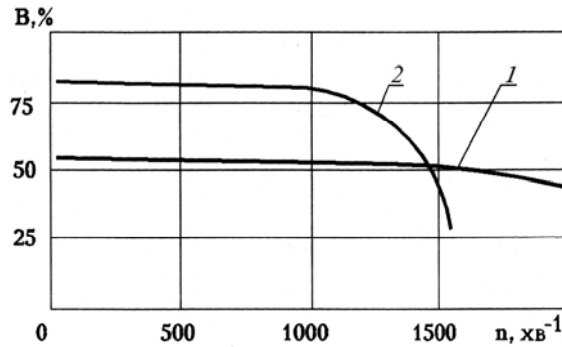


Рис. 8.16. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного валу для СДННО: 1 – пасивного; 2 – пневматичного

Враховуючи, що конструктивно пневматичні СДННО значно простіші гідравлічних, а для отримання робочого середовища (стиснутого повітря) можна використовувати фабричні пневмомагістралі, пневматичні СДННО можуть бути рекомендовані для використання на ВМ з робочими швидкостями в'язання порядку 1000–1200 петельних рядів за хвилину, при цьому бажано провести комплекс експериментально-аналітичних досліджень з виходом на виробничі випробування.

8.4. Електромеханічні СДННО

8.4.1. Конструктивні особливості

На основі розробленої тривірневої класифікації СДННО, показана можливість створення електромеханічних пристроїв стабілізації натягу ниток основи різних конструкцій. Основна різниця

між ними полягає у виборі приводу, що забезпечує примусове (за наперед визначеним законом) переміщення скала. В якості приводу електромеханічних СДННО запропоновано використання електродвигунів [145] або електромагнітів [144].

На рис. 8.17 представлена принципова схема двигунного СДННО [145]. Пристрій включає електродвигун *1*, в якого ротор *2* через підпружинений вал *3*, кронштейни *4* з'єднаний зі скалом *5*, що огинається нитками основи *6*. Статор *7*, що закріплений на станині ВМ, електрично-з'єднаний з блоком управління *8*, який отримує сигнали від датчика *9* коливань скала. Робота датчика *9* синхронізована з обертанням головного вала *10* за рахунок закріплення рухомого елемента *11*, що виконує функції програмоносія.

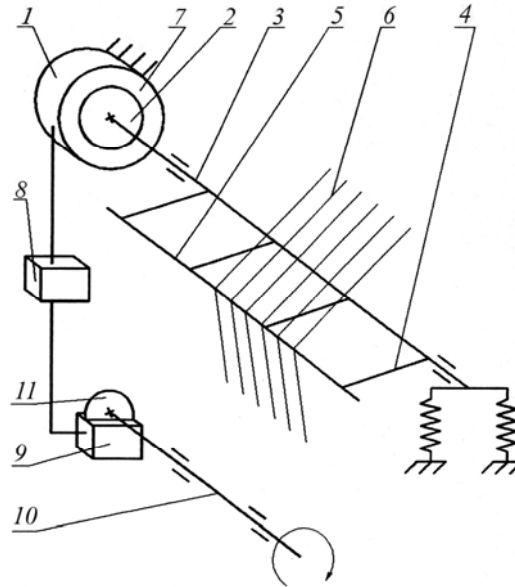


Рис. 8.17. Принципова схема двигунного СДННО

При обертанні головного вала *10* і програмоносія *11* в датчику *9* виробляються сигнали, які після посилення в блоці управління *8* подаються на двигун *1*, викликаючи поворот ротора *2* і підпружиненого вала *3* за і проти годинникової стрілки, при цьому величина повороту обмежена пружинами. При повороті вала *3* за годинниковою стрілкою скало *5* переміщується в сторону зони петлеутворення, забезпечуючи тим самим додаткову подачу ниток

основи, і навпаки при повороті вала 3 проти годинникової стрілки скало 5 переміщується від зони петлеутворення, забезпечуючи тим самим додаткову вибірку ниток основи з зони петлеутворення.

Робота датчика 9, через головний вал 10 і програмоносій 11, синхронізована з процесом петлеутворення таким чином, що в період інтенсивної витрати ниток основи, СДННО забезпечує додаткову їх подачу, попереджуючи тим самим зростання натягу ниток основи, а в період виникнення надлишку ниток, СДННО забезпечує додаткове споживання ниток основи, попереджуючи тим самим падіння натягу ниток основи. Таким чином забезпечується стабілізація натягу ниток основи.

8.4.2. Експериментальні дослідження двигунних пристроїв стабілізації натягу ниток основи

Для оцінки можливості електромеханічних пристроїв стабілізації натягу ниток основи була вибрана конструкція двигунного СДННО [145], як найбільш проста і легка в реалізації, за рахунок використання готових комплектуючих елементів (малоінерційні двигуни, блоки живлення). Розрахунок основних елементів СДННО було виконано в процесі виконання науково-дослідної роботи [200].

1. Методика проведення експерименту. В основу експериментальних досліджень двигунного СДННО покладено визначення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (2.44). Для його визначення необхідно оперувати значеннями максимальних розмахів коливань натягу ниток основи при використанні СДННО і при його відсутності.

Для отримання порівняльної оцінки ефективності роботи двигунного СДННО, в процесі досліджень проводився також запис натягу ниток при використанні відомих пасивних СДННО. Таким чином, запис натягу ниток основи проводився для трьох варіантів:

- 1) СДННО відсутній,
- 2) стабілізація натягу ниток основи проводиться двигунним СДННО.
- 3) стабілізація проводиться пасивним СДННО.

Запис осцилограм натягу ниток основи (на стенді пасок) проведено при чотирьох швидкісних режимах в межах $500\text{--}1800\text{ хв}^{-1}$, при трьох значеннях приведеної до скала жорсткості підпружи-

неного вала – 48, 65 та 91 Нм/рад. Закон збурення на стенді сформовано ротаційним пристроєм і характерний для ОВМ та ВПМ.

На рис. 8.18 зображено стенд для експериментальних досліджень двигунного СДННО. Стенд включає блок формування функції збурення 1, що моделює коливання вживання ниток в середині кожного циклу петлеутворення, блок стабілізації натягу ниток основи, який складається з малоінерційного двигуна 2, підпружиненого вала 3 і скала 4. Блок формування функції збурення і блок стабілізації натягу ниток основи взаємодіє між собою через пас 5, жорсткість якого еквівалентна жорсткості ниток основи ВМ.

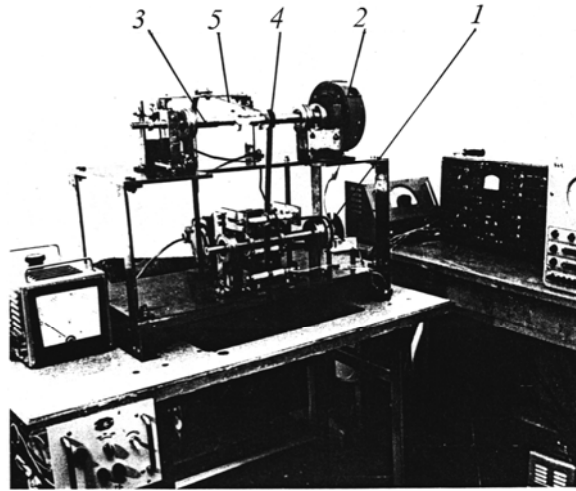


Рис. 8.18. Стенд для експериментальних досліджень електромеханічного двигунного СДННО:

1 – блок формування функції збурення; 2 – малоінерційний двигун;
3 – підпружинений вал; 4 – скало; 5 – пас (шнур)

Для реєстрації натягу паса на стенді встановлено тензометричний датчик 6, восьмиканальний тензопідсилювач 8АНЧ-7М і шлейфовий осцилограф Н117/1.

2. Обробка результатів експерименту. Розрахунок довірчих границь значень розмахів коливань натягу ниток проведено за методикою [320], з використанням малої вибірки. Число оброблювальних циклів вибрано таким чином, що довірливі границі стали

значно меншими максимальних значень відхилень кривих, і прийнято рівним п'яти. Розмах варіювання для більшості значень розмахів коливань натягу ниток основи з п'яти замірів виявився не більше 0,5 сН і прийнятий рівним цьому значенню. За вказаними вхідними даними розраховано довірчі границі середніх арифметичних значень розмахів коливань натягу ниток $X = X \pm 0,11$ сН при імовірності $P = 0,95$.

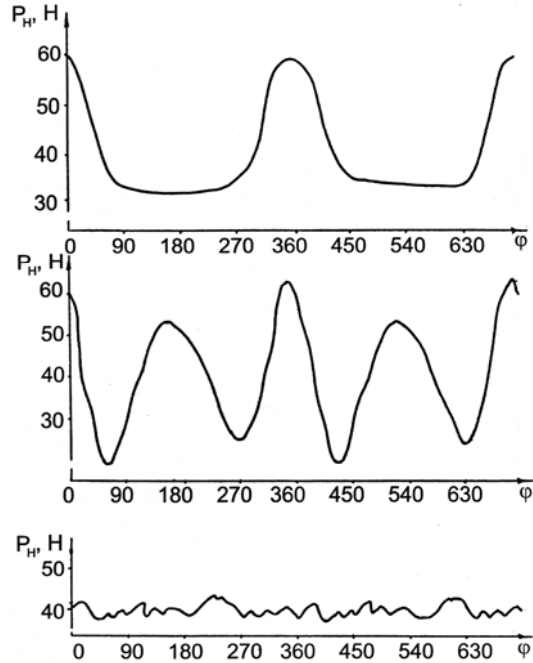


Рис. 8.19. Запис коливань натягу ниток основи для різних варіантів стабілізації

На рис. 8.19, в якості прикладу, представлені осцилограми коливань натягу ниток при різних варіантах стабілізації – СДННО відсутній (рис. 8.19, а), використання пасивного СДННО (рис. 8.19, б), використання двигунного СДННО (рис. 8.19, в), при частоті обертання головного вала (частота петлеутворення) 1300 хв^{-1} , при жорсткості підскальних пружин 65 Нм/рад .

На основі отриманих осцилограм побудовані графіки, наведені на рис. 8.20, що відображають залежність ступеня стабі-

лізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного вала при встановленні на стенді двигунного СДННО і пасивного СДННО, характерного для ОВМ моделі 5219 “Кокетт-2”.

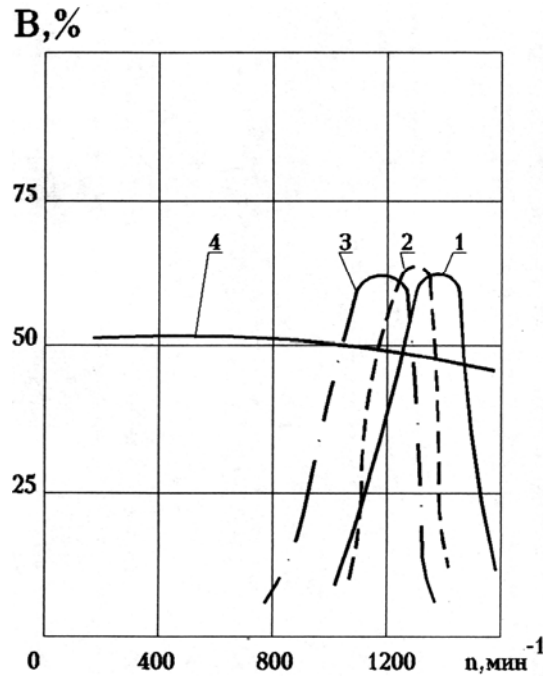


Рис. 8.20. Залежність ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи від частоти обертання головного вала для електромеханічного СДННО:

1 – $C = 92 \text{ Нм/рад}$; 2 – $C = 65 \text{ Нм/рад}$;
3 – $C = 48 \text{ Нм/рад}$; 4 – для пасивного СДННО

З отриманих результатів видно, що двигунний СДННО дозволяє досягти достатньо високого рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (60–70 %) у вузьких швидкісних границях в’язання, максимальне значення яких не перевищує 1500 петельних рядів на хвилину.

Границі швидкісних режимів залежать від жорсткості підскальних пружин, при цьому зі збільшенням жорсткості значення границь зміщуються в область більш високих значень швидкостей.

При жорсткості підскальних пружин 91 Нм/рад максимальне значення ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи (68 %) досягнуто при частоті обертання головного вала 1400 хв⁻¹, що суттєво менше показників ротаційних, гідравлічних і пневматичних СДННО.

Швидкісні режими роботи розробленого двигунного СДННО (1200–1400 хв⁻¹) нижче швидкісних режимів сучасних і перспективних конструкцій ОВМ і ВІМ, виходячи з чого зроблено висновок про можливість використання двигунних СДННО в основному в процесі модернізації існуючих ВМ.

Висновки

1. На основі розробленої трирівневої класифікації СННО, показана можливість створення перспективних конструкцій СДННО.

2. Показана можливість удосконалення ротаційних СДННО як в напрямку розширення технологічних можливостей, так і в напрямку підвищення ефективності процесу стабілізації динамічного натягу ниток основи.

3. На основі чисельного моделювання, встановлена можливість за рахунок використання ротаційних СДННО перевищити 90-відсотковий рівень ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи.

4. Розроблено ряд принципово нових перспективних конструкцій гідравлічних СДННО, новизна яких захищена авторськими посвідченнями і патентами. На основі експериментальних досліджень лопатевого СДННО, показана можливість досягнення 90-відсоткового рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при робочих і перспективних (від 1200 до 3000 петельних рядів на хвилину) швидкостях ВМ.

5. Розроблено ряд принципово нових перспективних конструкцій пневматичних СДННО, новизна яких захищена авторськими посвідченнями і патентами. На основі експериментальних досліджень лопатевого СДННО, показана можливість досягнення 90-відсоткового рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при відносно низьких швидкостях в'язання – 1200 петельних рядів на хвилину.

6. Розроблено ряд принципово нових перспективних конструкцій електромеханічних СДННО, новизна яких захищена авторськими посвідченнями і патентами. На основі експериментальних досліджень двигунного СДННО, показана можливість досягнення 68-відсоткового рівня ступеня стабілізації динамічного натягу ниток основи при частоті обертання головного вала $VM\ 1400\ \text{хв}^{-1}$, при цьому відмічено залежність ефективності роботи двигунного СДННО від приведеної до скала жорсткості пружин, розміщених під ним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Далидович А. С. Технология трикотажного производства. В 2 ч. Ч. 1 / А. С. Далидович. – М. : Гизлегпром, 1939. – 544 с.
2. Далидович А. С. Технология трикотажного производства. В 2 ч. Ч. 2 / А. С. Далидович. – М. : Гизлегпром, 1940. – 621 с.
3. Далидович А. С. Основы теории вязания / А. С. Далидович. – М. : Легкая индустрия, 1970. – 432 с.
4. Моисеенко Ф. А. Нормализация процесса вязания на основовязальных машинах / Ф. А. Моисеенко. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 200 с.
5. Моисеенко Ф. А. Проектирование вязальных машин : учеб. для вузов / Ф. А. Моисеенко. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 168 с.
6. Моисеенко Ф. А. Проектування в'язальних машин : підруч. для вузів / Ф. А. Моисеенко. – Х. : Основа, 1994. – 336 с.
7. Шалов И. И. Технология трикотажного производства / И. И. Шалов, А. С. Далидович, Л. А. Кудрявин. – М. : Легпромбытиздат, 1984. – 296 с.
8. Шалов И. И. Технология трикотажа / И. И. Шалов, А. С. Далидович, Л. А. Кудрявин. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.
9. Кудрявин Л. А. Основы технологии трикотажного производства / Л. А. Кудрявин, И. И. Шалов. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 496 с.
10. Гарбарук В. Н. Расчет и конструирование трикотажных машин / В. Н. Гарбарук. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.
11. Окс Б. С. Оптимизация процесса вязания на основовязальных машинах / Б. С. Окс. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 200 с.
12. Радзиевский В. А. Автоматическое регулирование и контроль нитеподачи на быстроходных основовязальных машинах / В. А. Радзиевский, В. М. Бондарь. – М. : Легкая индустрия, 1971. – 232 с.

13. Хомяк О. Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О. Н. Хомяк, Б. Ф. Пипа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
14. Кузнецов Б. А. Расчет и проектирование петлеобразующей системы основязальных машин / Б. А. Кузнецов. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 152 с.
15. Чередниченко А. В. Исследование нитеподачи на вязально-прошивных машинах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / А. В. Чередниченко ; Ленингр. ин-т технол. легк. пром-сти. – Л., 1974. – 23 с.
16. Король В. П. Исследование влияния характеристик нитеподачи и натяжения нитей основы на петельную структуру основязального трикотажа : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.03 / В. П. Король ; КТИЛП. – К., 1969. – 29 с.
17. Геранина Л. М. Исследование динамики и автоматического регулирования натяжения нитей на быстроходных основязальных машинах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Л. М. Геранина ; КТИЛП. – К., 1974. – 21 с.
18. Кононова Е. В. Совершенствование процесса нитеподачи на основязальной машине : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Е. В. Кононова ; РПИ. – Рига, 1982. – 17 с.
19. Тройникова О. К. Нормализация процесса вязания на основязальных машинах типа “Кокетт” с целью повышения эффективности производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.03 / О. К. Тройникова ; КТИЛП. – К., 1991. – 21 с.
20. Чабан В. В. Исследование и разработка устройств для стабилизации натяжения нитей основы : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / В. В. Чабан ; КТИЛП. – К., 1991. – 25 с.
21. Бабинец С. В. Анализ причин дефектности вертелочных полотен с целью повышения их качества / С. В. Бабинец // Науч.-исслед. труды МТИ. – 1955. – Т. XVI. – С. 28–40.
22. Brooke E. R. Warp knitting faults analysed / E. R. Brooke // Hosiery Trade J. – 1967. – № 885. – P. 122–124.
23. Моисеенко Ф. А. Продольные перемещения нитей основы по ушковицам основязальной машины вертелка. Сообщ. 1 / Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1971. – № 6. – С. 102–106.
23. Моисеенко Ф. А. Продольные перемещения нитей основы по ушковицам основязальной машины вертелка. Сообщ. 2 / Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1972. – № 1. – С. 106–113.

24. Моисеенко Ф. А. К вопросу нормализации процесса прокладывания нитей на иглы основовязальных машин / Ф. А. Моисеенко // Технология легкой пром-сти. – 1972. – № 6. – С. 129–133.
25. А. с. 312905 СССР, МКИ D 04 B 27/24. Способ прокладывания нитей основы на иглы основовязальной машины / Ф. А. Моисеенко, А. С. Далидович (СССР). – № 1455022/28-12 ; заявл. 01.07.70 ; опубл. 31.08.71, Бюл. № 26. – 5 с.
26. А. с. 330216 СССР, МКИ D 04 B 27/24. Механизм качательного движения ушковой гребенки основовязальной машины / Ф. А. Моисеенко, А. С. Далидович (СССР). – № 1455021/28-12 ; заявл. 01.07.70 ; опубл. 24.02.72, Бюл. № 8. – 4 с.
27. Параска Г. Б. Разработка устройств для стабилизации натяжения нитей основы вязальных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Параска Георгий Борисович. – К., 1986. – 219 с.
28. Гарбарук В. Н. Применение скоростной киносъемки для исследования машин легкой промышленности / В. Н. Гарбарук // Легкая промышленность. – 1956. – № 9. – С. 34–39.
29. Потемкин Д. М. Развитие и усовершенствование основовязальных машин / Д. М. Потемкин. – М. : Ростехиздат, 1969. – 104 с.
30. Моисеенко Ф. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 1 / Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1962. – № 3. – С. 97–104.
31. Моисеенко Ф. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 2 / Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1962. – № 4. – С. 119–125.
32. Моисеенко Ф. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 4 / Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1963. – № 4. – С. 153–159.
33. Радзиевский В. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 3 / В. А. Радзиевский, Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1963. – № 3. – С. 93–104.
34. Радзиевский В. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 5 / В. А. Радзиевский, Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1965. – № 1. – С. 120–128.

35. Радзиевский В. А. Исследование причин образования поперечной полосатости вертелочного полотна и путей ее устранения. Сообщ. 6 / В. А. Радзиевский, Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1965. – № 2. – С. 105–115.
36. Юсупов Э. М. Исследование влияния натяжения нитей на длину петли в основовязальных переплетениях / Э. М. Юсупов, А. А. Гусев // Трикотажная промышленность. – 1968. – № 3. – С. 36–38.
37. Петрова В. Изменение натяжения нитей в цикле петлеобразования на основовязальной машине / В. Петрова, В. Хаваш // Техника и технология трикотажного производства. – Минск : Вышэйшая школа, 1980. – С. 25–30.
38. Наговский Ш. К. Взаимосвязь между натяжением нитей и силой оттяжки полотна при регулировании / Ш. К. Наговский, К. И. Бахматов, В. Н. Гарбарук // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1973. – № 2. – С. 95–98.
39. Наговский Ш. К. Исследование перетяжки нити в основовязальных машинах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Ш. К. Наговский. – Л., 1973. – 18 с.
40. Hadsan I. O. Cyclic tension variation on beaded needle warp knitting machines / I. O. Hadsan // Textile institute and industry. – 1968. – № 5. – P. 117.
41. Reisfeld A. Fundamentals of warp knit engineering. Part-30 / A. Reisfeld // Knitted Outerwear Times. – 1964. – № 12. – P. 33.
42. Юркевичюс В. И. Выносливость как один из показателей обрывности пряжи в технологическом процессе прядения и ткачества / В. И. Юркевичюс // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1980. – № 4. – С. 21–24.
43. Юркевичюс В. И. Модель обрывности нити в технологическом процессе / В. И. Юркевичюс // Текстильная промышленность. – 1986. – № 2. – С. 46–48.
44. Бородовский М. С. Выносливость пряжи / М. С. Бородовский, Е. А. Воронина // Текстильная промышленность. – 1947. – № 4. – С. 22–24.
45. Бородовский М. С. К вопросу о сопротивлении текстильных материалов / М. С. Бородовский // Текстильная промышленность. – 1951. – № 12. – С. 34–37.
46. Бородовский М. С. Возможность повышения производительности ткацких станков в свете теории выносливости пряжи / М. С. Бородовский // Текстильная промышленность. – 1951. – № 12. – С. 34–37.

47. Миловидов Н. Н. Усталость пряжи как один из факторов влияющих на обрывность в прядении / Н. Н. Миловидов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1962. – № 3. – С. 58–63.
48. Миловидов Н. Н. Выносливость пряжи при многократном растяжении и ее связь с обрывностью в процессе ткачества / Н. Н. Миловидов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1964. – № 2. – С. 77–82.
49. Миловидов Н. Н. Практическая ценность показателя выносливости пряжи / Н. Н. Миловидов // Текстильная промышленность. – 1965. – № 9. – С. 65–68.
50. Миловидов Н. Н. К вопросу об утомлении волокон в процессе многократного растяжения хлопчатобумажной пряжи / Н. Н. Миловидов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1964. – № 3. – С. 14–18.
51. Изучение физико-химических свойств кордовых волокон / В. А. Берестнев, Т. В. Готовская, В. А. Каргин, Е. Я. Яминская // Коллоидный журнал. – 1958. – № 6. – С. 694–696.
52. О механизме утомления волокон / В. А. Берестнев, Т. В. Готовская, В. А. Каргин, Е. Я. Яминская // Химические волокна. – 1959. – № 6. – С. 50–52.
53. Давыдов А. Ф. Статистический аспект изменений прочности хлопчатобумажной пряжи при многократном растяжении / А. Ф. Давыдов, С. М. Кирюхин, Г. Н. Кукин // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1970. – № 6. – С. 11–13.
54. Aksan S. Wplyw czestosci rozcidgania cyklicznego na wskazniki wytrzymaosciowe przedzy / S. Aksan // Prace Instytutu Wlokiennictwa. – 1973. – S. 23.
55. Копяс К. Технология основовязального трикотажа / К. Копяс ; пер. с польск. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 192 с.
56. Кононова Е. В. Длина нити в петле основовязального полотна / Е. В. Кононова, Б. С. Окс // Исследование и оптимизация процессов текстильной технологии. – Рига : РПИ. – 1981. – С. 77–81.
57. Кононова Е. В. Натяжение нитей основы при взаимодействии их со скалом на основовязальной машине / Е. В. Кононова, Б. С. Окс // Машины и технология текстильного и трикотажного производства : сб. науч. тр. – Рига : РПИ. – 1977. – С. 133–141.
58. А. с. 981482 СССР, МКИ D 04 B 23/00. Способ регулирования натяжения нитей основы / Б. С. Окс, Е. В. Кононова (СССР). – № 2772256/28-12 ; заявл. 12.04.79 ; опубл. 15.12.82, Бюл. № 46. – 4 с.

59. Чабан В. В. Исследование и разработка устройств для стабилизации натяжения нитей основы : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Чабан В. В. – К., 1991. – 219 с.
60. А. с. 1716834 СССР, МКИ Д 04 В 27/14. Нитенатяжное устройство для основовязальной машине / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк, В. В. Чабан, Б. Ф. Пипа, В. Л. Михневич (СССР). – № 4660930/12 ; заявл. 10.03.89 ; ДСП. – 3 с.
61. А. с. 1723221 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Нитенатяжное устройство быстроходной основовязальной машины / Ф. А. Моисеенко, О. К. Тройникова (СССР). – № 4797141/12 ; заявл. 29.12.89 ; опубл. 30.08.92, Бюл. № 12. – 4 с.
62. Параска Г. Б. Стабилизация натяжения нитей основы на основовязальных машинах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Г. Б. Параска ; КТИЛП. – К., 1986. – 23 с.
63. А. с. 1231089 СССР, МКИ D 04 В 27/10. Устройство для подачи основных нитей на основовязальной машине / О. Н. Хомяк, Г. Б. Параска (СССР). – № 3717590/12 ; заявл. 30.03.84 ; опубл. 15.05.86, Бюл. № 18. – 6 с.
64. Золотаревский Л. Т. Обрывность нитей на ткацких станках / Л. Т. Золотаревский. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 87 с.
65. Лустгартен Н. В. Анализ обрывности нитей в жакардовом ткачестве / Н. В. Лустгартен, В. Р. Крутикова // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1989. – № 5. – С. 55–57.
66. Egbers G. Measures to Improve Effectively in Weaving / G. Egbers, M. Azarschab, H. Murrweib // Melliand Textilberichte. – 1985. – № 8. – P. 543–548.
67. Azarschab Mehdi. Untersuchungen Uber das Verhalten der Kettfaden in der Webmaschine / Mehdi Azarschab // Melliand Textilberichte. – 1985. – № 11. – S. 786–790.
68. Muhlmann Rainer. Einflusse auf die Kettfadenbeanspruchung an hoshtourigen einund mehrphasigen Webmaschinen // Textiltechnik. – 1985. – № 10. – S. 537–541.
69. Weinsdorfen H. Die dynamischen Kettfadenbeanspruchungen unter Beruchsichtigung der Leistungssteigerung bei Webmaschinen / H. Weinsdorfen, A. Lange // Text.-Prax. int. – 1985. – № 2. – S. 118–120, 124, 126–127.
70. Schlichten S. Einflub verschiedener Maschinen – und Materialparameter auf Regeleigenschaften und Warenausfall beim Einsatz elektronisch gesteuerter Kettlabvorrichtungen an Filamentgarnwebmaschinen / S. Schlichten, I. Lunenschlob // Melliand Textilberichte. – 1987. – № 11. – S. 821–825.

71. Bamelis F. Wege zu honen Nutzeffekten in der Hochleistungsweberei / F. Bamelis // *Textiltechnik*. – 1990. – № 5. – S. 252–256.
72. Беляев П. Н. Пути улучшения режима натяжения основы на ткацком станке / П. Н. Беляев // *Совершенствование машин и технологических процессов ткацкого производства*. – М. : Легкая индустрия. – 1975. – С. 100–118.
73. Berthelon C. Fehlerfreies Weben Utopie oder Wirklichkeit / C. Berthelon // *Melliand Textilberichte*. – 1985. – № 9. – S. 615–619.
74. Гецонок Б. И. Статистическая модель обрывности нитей основы на ткацком станке / Б. И. Гецонок // *Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти*. – 1977. – № 1. – С. 53–54.
75. Гецонок Б. И. Интервальная оценка обрывности нитей основы / Б. И. Гецонок // *Текстильная промышленность*. – 1986. – № 1. – С. 42.
76. Гецонок Б. И. Обсуждается статья “Модель обрывности нитей в технологическом процессе” / Б. И. Гецонок // *Текстильная промышленность*. – 1986. – № 5. – С. 53–54.
77. Далидович А. С. Причины обрывности нитей основы и их устранение / А. С. Далидович, В. Н. Винокуров // *Текстильная промышленность*. – 1986. – № 1. – С. 45–46.
78. Курочкин П. В. Влияние заправочного натяжения на обрывность физико-механические свойства ткани / П. В. Курочкин // *Технология текстильной пром-сти*. – 1958. – № 2. – С. 121–127.
79. Ерохин Ю. Ф. Выравнивание натяжения основных нитей на станке СТБ / Ю. Ф. Ерохин, В. Н. Горелин, И. И. Балакирев // *Текстильная промышленность*. – 1983. – № 5. – С. 49–50.
80. Балакирев И. И. Усовершенствование подвижной системы основного регулятора / И. И. Балакирев // *Текстильная промышленность*. – 1981. – № 6. – С. 40–41.
81. Алексеева Н. С. Влияние работы основных регуляторов на потерю выносливости пряжи в процессе ткачества / Н. С. Алексеева // *Текстильная промышленность*. – 1970. – № 1. – С. 51–54.
82. Забелин В. И. Модернизированный механизм подвижной системы ткацкого станка АТ-100-5М / В. И. Забелин Л. М., Забелина // *Новое в технике и технологии производства хлопчатобумажных тканей*. – М., 1983. – С. 52–57.
83. Щербань В. Ю. К вопросу об обрывности нитей при их переработке / В. Ю. Щербань // *Изв. вузов. Технология легкой пром-сти*. – 1992. – № 5–6. – С. 81–84.

84. Duong-Minh-Anh-Lan. Wplyw cech strukturalnych i fizycznych przedzy oraz parametrow technologicznych osnowarek Kokett na cechy strukturalne dzianiny : praca doktorska / Duong-Minh-Anh-Lan ; Polytechnika Lodzka. – Lodz, 1972. – 221 s.

85. Потемкин Д. М. Пути усовершенствования быстроходной основовязальной машины / Д. М. Потемкин // Легкая пром-сть. – 1954. – № 11. – С. 15–21.

86. Лазарева Л. В. Уменьшение видимости поперечных полос в вертелочном полотне / Л. В. Лазарева // Легкая пром-сть. – 1956. – № 1. – С. 30–33.

87. Костюк Н. Н. Способы устранения поперечной полосатости на основовязальном полотне / Н. Н. Костюк, В. П. Сердюк // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1979. – № 3. – С. 85–89.

88. Король В. П. Влияние конструктивных характеристик нитенатяжного устройства основовязальной машины и режимов ее работы на равномерность петельной структуры трикотажа. Сообщ. 1 / В. П. Король, Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1968. – № 4. – С. 136–140.

89. Король В. П. Влияние конструктивных характеристик нитенатяжного устройства основовязальной машины и режимов ее работы на равномерность петельной структуры трикотажа. Сообщ. 2 / В. П. Король, Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1968. – № 5. – С. 120–125.

90. Король В. П. Влияние конструктивных характеристик нитенатяжного устройства основовязальной машины и режимов ее работы на равномерность петельной структуры трикотажа. Сообщ. 3 / В. П. Король, Ф. А. Моисеенко, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1968. – № 6. – С. 154–161.

91. Моисеенко Ф. А. Влияние соотношения длин петель основовязальных переплетений на петельную структуру трикотажа. Сообщ. 1 / Ф. А. Моисеенко, В. П. Король // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1969. – № 2. – С. 117–123.

92. Моисеенко Ф. А. Влияние соотношения длин петель основовязальных переплетений на петельную структуру трикотажа. Сообщ. 2 / Ф. А. Моисеенко, В. П. Король // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1969. – № 3. – С. 111–115.

93. Радзиевский В. А. Влияние натяжения нитей основы и силы оттяжки полотна на длину основовязальной петли / В. А. Радзиевский, В. В. Гржибовский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1971. – № 1. – С. 118–123.

94. Радзиевский В. А. О влиянии натяжения нитей основы на их потребление при основовязании / В. А. Радзиевский, В. В. Гржибовский // Технология легкой пром-сти. – 1971. – № 6. – С. 95–98.
95. Молчанов К. И. Влияние заправочного натяжения нитей основы на структуру основовязального полотна / К. И. Молчанов // Науч.-исслед. труды Ленингр. ин-т технол. легк. пром-сти. – 1971. – Т. XI. – С. 92–93.
96. Молчанов К. И. Исследование механизмов нитеподачи основовязальных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / К. И. Молчанов ; Ленингр. ин-т технол. легк. пром-сти. – Л., 1972. – 21 с.
97. Кобляков А. И. Натяжение нитей основы при выработке полотна переплетения трико с утком / А. И. Кобляков // Науч.-исслед. труды Моск. технол. ин-та. – 1955. – Т. XVI. – С. 41–47.
98. Гарбарук В. Н. Изучение машин при помощи скоростной киносъемки / В. Н. Гарбарук // Легкая пром-сть. – 1957. – № 9. – С. 34–37.
99. Гржибовський В. В. Вплив на пряму зсуву гребінки на витрату нитки та структуру полотна при основовязанні / В. В. Гржибовський, В. П. Король, В. А. Радзівський // Легка і текстильна пром-сть. – К., 1972. – № 7. – С. 29–33.
100. Крылова Л. А. Влияние структурной неоднородности на прочность основовязального трикотажа / Л. А. Крылова // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1973. – № 3. – С. 120–124.
101. Крылова Л. А. Влияние структурной неоднородности на прочность основовязального трикотажа / Л. А. Крылова // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1973. – № 4. – С. 134–137.
102. Крутов В. И. Основы научных исследований / В. И. Крутов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1989. – 400 с.
103. Хомяк О. М. Наукові основи та інженерні методи підвищення ефективності роботи плоских в'язальних машин і автоматів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.2010 / О. М. Хомяк ; Держ. акад. легкої промисловості України. – К., 1999. – 33 с.
104. Бахматов К. И. Исследование товароприемных механизмов основовязальных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. И. Бахматов ; Ленингр. ин-т технол. легк. пром-сти. – Л., 1974. – 20 с.
105. Влияние натяжения нити основы и силы оттяжки полотна на длину нити в петле / В. П. Щербаков и др. // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1976. – № 1. – С. 135–139.
106. Гарбарук В. Н. Изменение натяжения нитей в основовязальной машине при сматывании с постоянной скоростью / В. Н. Гар-

- барук // Исследование и оптимизация процессов текстил. технологии. – 1982. – С. 95–97.
107. Гарбарук В. Н. Расчет и конструирование трикотажных машин. – М. : Машиностроение, 1966. – 523 с.
108. Будняцкий Н. М. Исследование закономерностей изменения натяжения нитей на основовязальных машинах с целью разработки новых систем нитеподачи / Н. М. Будняцкий, Н. И. Лударь // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1970. – № 6. – С. 75–78.
109. Будняцкий Н. М. Исследование закономерностей изменения натяжения нитей на основовязальных машинах с целью разработки новых систем нитеподачи / Н. М. Будняцкий, Н. И. Лударь // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1972. – № 6. – С. 125–130.
110. Лударь Н. И. Исследование закономерностей изменения натяжения нитей на основовязальных машинах с целью разработки новых систем нитеподачи / Н. И. Лударь, Н. М. Будняцкий // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1973. – № 1. – С. 115–118.
111. Хомяк О. Н. Влияние натяжения нитей основы на функцию их потребления / О. Н. Хомяк, Г. Б. Параска // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1985. – № 4. – С. 97–101.
112. Гандельман И. Л. Стабилизация параметров основовязальных полотен посредством технических средств и электронной системы контроля процессов вязания / И. Л. Гандельман // Основные направления науч.-техн. прогресса в трикотажной пром-сти в 1991–1995 годах : тр. всесоюз. науч.-техн. конф. – М. : 1990. – С. 53–54.
113. А. с. 144256 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Устройство к быстроходной основовязальной машине для поддержания постоянства натяжения нитей основы / В. А. Радзиевский (СССР). № 731543/28-12 ; заявл. 12.05.62 ; опубл. 17.11.62, Бюл. № 2. – 3 с.
114. Каценеленбоген А. М. Устройство, работа и обслуживание основовязальных машин / А. М. Каценеленбоген, Л. Д. Верховина. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 354 с.
115. Гурвич Л. И. Конструктивные особенности современных основовязальных машин / Л. И. Гурвич, Э. Е. Пейсах, А. М. Бенцман. – М. : Легкая индустрия, 1973. – 184 с.
116. Колесникова Е. Н. Вязальное оборудование трикотажных фабрик / Е. Н. Колесникова [и др.]. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 344 с.
117. Офферман П. Основы технологии трикотажного производства / П. Офферман, Х. Тауш-Мартон ; пер. с нем. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1981. – 216 с.

118. Бондарь В. М. Средства автоматизации трикотажного производства / В. М. Бондарь [и др.]. – К. : Техника, 1989. – 156 с.
119. Аль-Фріхад Абдель Рахман. Класифікація пасивних компенсаторів натягу ниток основи в'язальних та текстильних машин / Аль-Фріхад Абдель Рахман, В. В. Чабан, О. М. Хомяк // Легка пром-сть. – 1997. – № 4. – С. 46.
120. Лударь А. И. Средства автоматики и вычислительной техники для трикотажного оборудования / А. И. Лударь, Е. Б. Рабинович. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 296 с.
121. Чабан В. В. Классификация компенсаторов натяжения нитей основы / В. В. Чабан, О. М. Хомяк, Г. Б. Параска ; Гос. акад. легк. пром-сти Украины. – К., 1992. – 22 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ Легпром 21.02.92, № 3377-лп.
122. Моисеенко Ф. А. Нитенатяжные устройства основовязальных машин / Ф. А. Моисеенко, О. К. Тройникова // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1988. – № 5. – С. 95–100.
123. Хомяк О. Н. Нитенатяжное устройство для основовязальной машины / О. Н. Хомяк, В. В. Чабан, Г. Б. Параска // Легкая пром-сть. – 1991. – № 3. – С. 32.
124. А. с. 1839506 СССР, МКИ D 04 B 27/14. Регулятор натяжения нитей основы на основовязальной машине / Г. Б. Параска, Г. П. Черменский, О. Н. Хомяк, В. А. Кононюк, В. В. Чабан (СССР). – № 4827192/12 ; заявл. 21.05.90 ; ДСП. – 7 с.
125. Пат. 2023081 Российская Федерация, МКИ D 04 B 27/14. Регулятор натяжения нитей основы на основовязальной машине / Г. Б. Параска, Г. П. Черменский, И. В. Горпенчук (Украина). – № 4885016/12 ; заявл. 21.11.90 ; опубл. 15.11.94, Бюл. № 21. – 8 с.
126. Параска Г. Б. Стабілізація натягу ниток основи на в'язальних машинах / Г. Б. Параска // Вісник Технолог. ун-ту Поділля. Серія 1, Технічні науки. – 1997. – № 1. – С. 115–118.
127. Параска Г. Б. Класифікація механізмів натягу ниток основи текстильних машин / Г. Б. Параска, А. І. Алексієнко // Вдосконалення обладнання легкої пром-сті та складної побутової техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Хмельницький : ХТІ, 1993. – С. 7–8.
128. Параска Г. Б. Компенсация натяжения нитей основы на текстильных машинах / Г. Б. Параска // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1990. – № 3. – С. 84–87.
129. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1976. – 848 с.

130. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : справ. пособие. В 7 т. Т. I. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1979. – 496 с.
131. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : справ. пособие. В 7 т. Т. II. Кулисные рычажные и кривошипно-ползунные механизмы. – М. : Наука, 1979. – 560 с.
132. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : справ. пособие. В 7 т. Т. IV. Зубчатые механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1979. – 582 с.
133. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : справ. пособие. В 7 т. Т. VI. Электрические механизмы. Т. VII. Гидравлические и пневматические механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1979. – 784 с.
134. Кожевников С. Н. Механизмы : справ. пособие / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин ; под ред. С. Н. Кожевникова. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.
135. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
136. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Дж. Диксон. – М. : Мир, 1969. – 440 с.
137. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – М. : Моск. рабочий, 1973. – 296 с.
138. Саламатов Ю. П. Система развития законов в технике / Ю. П. Саламатов. – Петрозаводск : Карелия, 1991. – 304 с.
139. Завьялов А. Б. Закономерность развития технических систем / А. Б. Завьялов [и др.]. – Красногорск, 1991. – 44 с.
140. А. с. 1832777 СССР, МКИ Д 04 В 27/14. Регулятор натяжения нитей основы на основовязальной машине / Г. Б. Параска, Г. П. Черменский (СССР). – № 4702913/12 ; заявл. 09.06.89; ДСП. – 4 с.
141. Пат. 2051998 Рос. Федерация, МПК D 04 В 27/14. Регулятор натяжения нитей основы на основовязальной машине / Г. Б. Параска, Г. П. Черменский, И. М. Романишин (Украина). – № 4883917/12 ; заявл. 17.10.90 ; опубл. 10.01.96, Бюл. № 1. – 6 с.
142. Разработка теоретических основ создания нитенатяжных устройств для машин легкой и текстильной промышленности : отчет о НИР (заключ.) / Гос. акад. легк. пром-сти Украины ; рук. О. Н. Хомяк ; исполн.: Г. Б. Параска, В. В. Чабан. – К., 1995. – 219 с. – № ГР 0194U004173. – Инв. № 0295U000547.
143. Разработка теоретических и практических основ создания нитенатяжных устройств для машин легкой и текстильной

промышленности : отчет о НИР (заключ.) : 2Б–91/ Хмельницкий технол. институт ; рук. Г. Б. Параска ; исполн.: А. И. Алексеенко, Р. А. Марчук. – Хмельницкий, 1994. – 70 с. – № ГР 0193U023554. – Инв. № 0294U002049.

144. А. с. 1313920 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Регулятор натяжения нитей основы на основовязальной машине / О. Н. Хомяк, Б. Ф. Пипа, Г. Б. Параска, В. В. Чабан (СССР). – № 3990148/31-12 ; заявл. 17.12.85 ; опубл. 30.05.87, Бюл. № 20. – 5 с.

145. А. с. 1711509 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Устройство для регулирования натяжения нитей основы на основовязальной машине / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк, В. А. Кононюк, В. В. Чабан, Р. С. Баксалов, Р. Ц. Зюлковский (СССР). – № 4426023/12 ; заявл. 19.05.88 ; ДСП. – 5 с.

146. Гордеев В. А. Динамика механизмов отпуска и натяжения основы ткацких станков / В. А. Гордеев. – М. : Легкая индустрия, 1965. – 224 с.

147. Гордеев В. А. Исследование циклической деформации упругой системы заправки ткацких станков / В. А. Гордеев // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1959. – № 3. – С. 103–109.

148. Гордеев В. А. Определение составляющих и суммарной циклической деформации упругой системы заправки ткацкого станка / В. А. Гордеев // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1959. – № 4. – С. 105–115.

149. Власов П. В. Нормализация процесса ткачества / П. В. Власов. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 296 с.

150. Гордеев В. А. Ткачество / В. А. Гордеев, П. В. Волков. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 488 с.

151. Сперанская Т. Ф. Анализ изменения статического натяжения основных нитей на ткацком станке СТБ / Т. Ф. Сперанская, С. Т. Горицкий // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1974. – № 1. – С. 63–67.

152. Саввин О. А. О деформации нитей основы на ткацком станке АТ-100-5М, вызванных перемещением скала / О. А. Саввин // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1967. – № 2. – С. 86–89.

153. Саввин О. А. Влияние приведенного момента инерции скала станка АТ-100-5М на динамическую составляющую натяжения основы // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1975. – № 5. – С. 149–153.

154. Ерохин Ю. Ф. Выравнивание натяжения основных нитей на станке СТБ / Ю. Ф. Ерохин, В. Н. Гарелин, И. И. Балакарев // Текстильная пром-сть. – 1983. – № 5. – С. 49–50.
155. Абрамов В. А. Об изменении статической составляющей натяжения нитей на пневматическом ткацком станке СТБ-2-330 на ее обрывность при ткачестве / В. А. Абрамов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1970. – № 4. – С. 55–58.
156. Колотилов С. И. Необходимое условие стабилизации статической составляющей натяжения основы на станке СТБ / С. И. Колотилов, Е. А. Чистяков, И. А. Артемьев // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1980. – № 5. – С. 50–53.
157. Ефремов Е. Д. Деформация упругой системы заправки на ткацком станке : учеб. пособие / Е. Д. Ефремов. – Иваново : ИХТИ, 1979. – 73 с.
158. Патент США, № 2442796, НКИ 66-86, 1948.
159. Патент ФРГ, № 913226, МКИ Д 04 В 27/14, 1954.
160. Патент Великобритании, № 874745, НКИ 74(2), 1961.
161. Патент ГДР, № 142967, МКИ Д 04 В 27/10, 1980.
162. Параска Г. Б. Дослідження удосконаленого пружного елемента стабілізаторів натягу ниток основи текстильних машин / Г. Б. Параска // Вісник Технолог. ун-ту Поділля. Серія 1, Технічні науки. – 1997. – № 1. – С. 109–114.
163. Марчук А. Р. Аналітичні дослідження удосконаленого пружного елемента стабілізаторів натягу ниток основи в'язальних машин / А. Р. Марчук, Г. Б. Параска // Придніпровський науковий вісник. – 1998. – № 56. – С. 13–24.
164. Патент США, № 341583, НКИ 66-146, 1967.
165. Патент ФРГ, № 2162396, НКИ 86 с 18/11, 1974.
166. Патент Великобритании, № 1284441, НКИ D1C, 1972.
167. Патент ГДР, № 100753, МКИ D 03 d 49/12, 1973.
168. Параска Г. Б. Оптимізація конструктивних параметрів ротаційного стабілізатора динамічного натягу ниток основи текстильних машин / Г. Б. Параска, В. В. Макарьський // Вимір. та обчисл. техн. в технолог. процесах і конверсії виробництва : тези доп. III наук.-техн. конф. – Хмельницький : ХТІ, 1995. – С. 104.
169. А. с. 1770477 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Нитенатяжное устройство для основовязальной машины / В. В. Чабан, Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк (СССР). – № 4754425/12 ; заявл. 30.10.89 ; опубл. 23.10.92, Бюл. № 39. – 4 с.

170. А. с. 1788799 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Натяжное устройство для основовязальной машины / Г. Б. Параска, В. В. Чабан, О. Н. Хомяк, Б. Ф. Пипа (СССР). – № 4754443/12 ; заявл. 30.10.89 ; ДСП. – 2 с.
171. А. с. 1807131 СССР, МКИ D 04 В 27/14. Скало основовязальной машины / Г. Б. Параска, В. В. Чабан, О. Н. Хомяк, О. К. Тройникова, Ф. А. Моисеенко (СССР). – № 4851932/12; заявл. 18.07.90 ; опубл. 07.04.93, Бюл. № 13. – 4 с.
172. Пат. 2076911 Российская Федерация, МКИ D 04 В 27/14. Натяжное устройство для основовязальной машины / Г. Б. Параска, Аль-Фрихад Абдель Рахман (Украина). – № 5042855/12 ; заявл. 9.06.92 ; опубл. 10.04.97, Бюл. № 10. – 6 с.
173. Ахмед Абдел Рахман Мох'д Аль Фрихад. Удосконалення компенсаторів натягу ниток основи основов'язальних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.10 / Ахмед Абдел Рахман Мох'д Аль Фрихад ; Держ. акад. легк. пром-сти України. – К., 1998. – 13 с.
174. Чабан В. В. Теоретические исследования возможности повышения эффективности работы КННО пассивного действия / В. В. Чабан, Аль-Фрихад Абдель Рахман, О. М. Хомяк, Г. Б. Параска ; Гос. акад. легк. пром-сти Украины. – К., 1997. – 45 с. – Деп. в ГНТБ Украины 01.07.97, № 382-Ук 97.
175. Чабан В. В. Экспериментальные исследования новой системы компенсации натяжения нитей основы / В. В. Чабан, Аль-Фрихад Абдель Рахман, О. М. Хомяк, Г. Б. Параска ; Гос. акад. легк. пром-сти Украины. – К., 1997. – 23 с. – Деп. в ГНТБ Украины 01.07.97, №383-Ук 97.
176. Патент США, № 2649864, НКИ 139-97, 1951.
177. Патент Великобритании, № 1316838, D 04 В 27/12, 1970.
178. Патент Великобритании, № 1401623, D 04 В 27/14, 1971.
179. Патент Франции, № 2154088, МКИ D 04 В 27/00, 1973.
180. Патент Великобритании, № 1577313, НКИ Д1С17, 1975.
181. Патент ГДР, № 204115, МКИ D 04 В 25/06, 1983.
182. А. с. 1221261 СССР, МКИ D 04 В 23/00. Основовязальная машина / О. Н. Хомяк, Г. Б. Параска (СССР). – № 3709816/28-12 ; заявл. 03.02.84 ; опубл. 30.03.86, Бюл. № 12. – 3 с.
183. Патент ФРГ, № 1255599, НКИ 86 с 18/11, 1968.
184. Патент ЧССР, № 148032, МКИ D 04 В 23/08, 1973.
185. Патент ЧССР, № 193281, МКИ D 02 D 49/22, 1981.
186. Патент ФРГ, № 1199708, НКИ 86 с 18/11, 1967.

187. А. с. 328760 СССР, МКИ D 03 В 47/26, 47/14. Компенсатор основы для многозевной ткацкой машины / А. Г. Селиванов (СССР). – № 1393502/28-12 ; заявл. 13.01.70 ; опубл. 15.06.78, Бюл. № 29. – 4 с.
188. А. с. 1427895 СССР, МКИ D 03 В 47/26, 47/14. Компенсатор основы для ткацкого станка с волнообразно подвижным поперек основы зевом / Г. Б. Параска, Е. П. Пискунова (СССР). – № 4190367/31-12 ; заявл. 02.02.87 ; ДСП. – 4 с.
189. А. с. 1737048 СССР, МКИ D 04 В 27/10. Устройство для подачи основных нитей на основовязальной машине / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк, О. К. Тройникова (СССР). – № 4867012/12 ; заявл. 02.07.90 ; опубл. 30.05.92, Бюл. № 20. – 6 с.
190. Патент Японии № 52-31985, МКИ D 03 D 49/16, 1977.
191. Патент Японии № 53-28543, МКИ D 03 D 49/14, 1978.
192. Патент ЧССР № 167833, МКИ D 03 D 49/22, 1977.
193. Патент Швейцарии № 664389, МКИ D 03 D 49/12, 1988.
194. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов : справ. пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
195. Герц Е. В. Динамика пневматических систем машин / Е. В. Герц. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.
196. Федорец В. А. Расчет пневматических и пневмогидравлических циклов систем / В. А. Федорец, М. Н. Педченко, А. В. Кухарец. – К. : Тэхника, 1981. – 184 с.
197. Навроцкий К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов / К. Л. Навроцкий. – М. : Машиностроение, 1991. – 384 с.
198. Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
199. Иринг Ю. Проектирование гидравлических и пневматических систем / Ю. Иринг ; пер. со словац. – Л. : Машиностроение, 1983. – 363 с.
200. Исследование возможности стабилизации натяжения нитей основы устройствами комбинированного действия : отчет о НИР (заключ.) : 3Б–89 / Хмельницкий технол. ин-т ; рук. Г. Б. Параска ; исполн.: Р. Ц. Зюлковский, Р. С. Баксалов. – Хмельницкий, 1990. – 78 с. – № ГР 0189U0077134. – Инв. № 0390U0027878.
201. А.с. 1682429 СССР, МКИ D 03 D 49/14. Устройство для регулирования натяжения нитей основы на ткацком станке / С. С. Рахимоджаев, А. М. Дедажанов, А. Ш. Алиев, А. А. Саримсаков (СССР). – № 4684310/12 ; заявл. 03.05.89 ; опубл. 12.11.91, Бюл. № 37. – 4 с.

202. Арменийский Е. В. Электрические микромашины / Е. В. Арменийский, Г. Б. Фалк. – М. : Высш. шк., 1985. – 231 с.
203. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность / Н. А. Барканов [и др.]. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
204. Исследование возможности повышения эффективности работы нитенатяжных устройств пассивного действия основовязальных машин : отчет о НИР (заключительный) : 33–91 / ХТИ ; рук. Г. Б. Параска ; исполн. О. А. Коротич. – Хмельницкий, 1992. – 38 с. – № ГР 0191U0052380. – Инв. № 0392U0009545.
205. А. с. 1509444 СССР, МКИ D 03 D 49/12. Механизм отпуска нитей основы на ткацком станке / З. И. Кубайтис, А. Д. Ленкаускайте, А. П. Строчкас (СССР). – № 4338634/28-12 ; заявл. 04.12.87 ; опубл. 23.09.89, Бюл. № 35. – 5 с.
206. А. с. ЧССР, № 221425, МКИ D 03 D 49/22, 1985.
207. Патент Австрии, № 368201, МКИ D 03 D 49/12, 1982.
208. Пат. 2076911 Российская Федерация, МКИ D 04 B 27/14. Натяжное устройство для основовязальной машины / Г. Б. Параска, Аль-Фрихад Абдель Рахман (Украина). – № 5042855/12 ; заявл. 09.06.92 ; опубл. 10.04.97, Бюл. № 10. – 6 с.
209. А. с. 627203 СССР, МКИ D 03 D 49/04. Устройство для регулирования натяжения основных нитей на ткацком станке / Б. Р. Киселев, В. К. Горьков (СССР). – № 2108688/28-12 ; заявл. 24.02.75 ; опубл. 18.08.78, Бюл. № 37. – 4 с.
210. Wheatley В. Knitting of outerwear fabrics on tricot and raschel machines / В. Wheatley // Knitting Times. – 1973. – № 43. – P. 108–116.
211. Разработка научных и практических основ повышения производительности текстильного оборудования на стадии эксплуатации : отчет о НИР (заключ.) : 3Б–94 / ХТИ ; рук. Г. Б. Параска ; исполн.: А. И. Алексеенко, Р. А. Марчук, В. В. Макаровский. – Хмельницкий, 1998. – 118 с. – № ГР 0194U035012. – Инв. № 0298U000064.
212. Патент США, № 4387743, НКИ 139/110, 1983.
213. Патент США, № 4402348, НКИ 139/110, 1983.
214. Патент США, № 4585037, НКИ 139/110, 1986.
215. А. с. 1141125 СССР, МКИ D 03 D 49/12. Основной регулятор ткацкого станка / Т. И. Шейнова, Ю. Ф. Ерохин, Ю. К. Коллеров (СССР). – № 3616210/28-12 ; заявл. 07.07.83 ; опубл. 23.02.85, Бюл. № 7. – 3 с.

216. Параска Г. Б. Підвищення рівномірності петельної структури основов'язального полотна / Г. Б. Параска // Легка пром-сть. – 1997. – № 3. – С. 52.
217. Заявка ФРГ № 3111841, МКИ D 03 D 39/00, 1982.
218. Патент ФРГ № 2260607, МКИ D 03 D 49/10, 1976.
219. А.с. 1406237 СССР, МКИ D 03 D 49/12. Устройство скала / Л. А. Макаров (СССР). – № 3678902/28-12 ; заявл. 14.11.1983 ; опубл. 30.06.1988, Бюл. № 24. – 2 с.
220. А. с. 1659549 СССР, МКИ D 04 В 15/44. Нитенатяжное устройство быстроходной основовязальной машины / Ф. А. Моисеенко, О. К. Тройникова (СССР). – № 4681996/12 ; заявл. 24.04.89 ; опубл. 30.06.91, Бюл. № 24. – 4 с.
221. Патент Швейцарии, № 596326, D 03 d 49/14, 1978.
222. А. с. 1730261 СССР, МКИ D 04 В 15/44. Нитенатяжное устройство к быстроходной основовязальной машине / О. К. Тройникова, Ф. А. Моисеенко, Г. Б. Параска, В. В. Чабан (СССР). – № 4813236/12 ; заявл. 09.04.90 ; опубл. 30.04.92, Бюл. № 16. – 6 с.
223. Патент ГДР, № 126355, МКИ D 04 В 23/00, 1977.
224. А. с. 679665 СССР, МКИ D 04 В 27/10. Устройство для подачи нити основовязальной машины / В. П. Сердюк, Н. Н. Костюк (СССР). – № 2397759/28-12 ; заявл. 01.09.76 ; опубл. 15.08.79, Бюл. № 30. – 4 с.
225. Патент ЧССР, № 249816, МКИ D 04 В 27/12, 1988.
226. Патент Японии, № 51-29232, НКИ 46 D 00, 1976.
227. Патент Японии, № 48-23504, НКИ 46 В 23, 1973.
228. Патент ФРГ, № 277710, МКИ D 04 В 27/14, 1990.
229. А. с. 958534 СССР, МКИ D 04 D 49/04. Механизм регулирования натяжения основы на ткацком станке / В. К. Жуков, Ю. А. Сироткин, П. В. Галкин (СССР). – № 3242202/28-12 ; заявл. 29.12.80 ; опубл. 15.09.82, Бюл. № 34. – 4 с.
230. А. с. 1564226 СССР, МКИ D 03 D 49/04. Механизм регулирования натяжения основы на ткацком станке / Ю. А. Сироткин, Г. В. Стученков, В. К. Тюренок, С. А. Чкалова. – № 4453722/30-12 ; заявл. 04.07.88 ; опубл. 15.05.90, Бюл. № 18. – 4 с.
231. Scharch D. Yarn tension for warp machines / D. Scharch // Knitt. Int. – 1979. – № 1021. – Р. 43.
232. А. с. 1070233 СССР, МКИ D 03 D 49/06. Основной регулятор к ткацкому станку / В. В. Налетов, В. А. Воронин, Р. М. Малофеев, Л. Д. Дубинин (СССР). – № 3486706/28-12 ; заявл. 17.08.82 ; опубл. 30.01.84, Бюл. № 4. – 4 с.

233. А. с. 1656021 СССР, МКИ D 03 D 49/12. Основной регулятор ткацкого станка / Г. П. Тимофеев, М. Ю. Майоров, М. У. Аушев, Ф. М. Болотин, А. Х. Мустаев (СССР). – № 4656759/12 ; заявл. 28.02.89 ; опубл. 15.06.91, Бюл. № 22. – 5 с.
234. А. с. 130603 СССР, МКИ D 04 B 27/14. Приспособление к основовязальной машине для уменьшения поперечной полосатости полотна / В. А. Радзиевский (СССР). – № 647322/28 ; заявл. 15.12.59 ; опубл. 30.06.60, Бюл. № 15. – 2 с.
235. Бондарь В. М. Аппаратура для исследования работы механизмов подачи основы на быстроходных основовязальных машинах / В. М. Бондарь, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1967. – № 2. – С. 121–126.
236. Геранина Л. М. Исследование динамики и автоматического регулирования натяжения нитей на быстроходных основовязальных машинах : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / Л. М. Геранина. – К., 1974. – 198 с.
237. Бондарь В. М. Исследование работы механизмов подачи основы быстроходных основовязальных машин : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : 05.05.10 / В. М. Бондарь ; Киев. технол. ин-т легк. пром-сти. – К., 1967. – 30 с.
238. Гржибовский В. В. Потребление нити в процессе основовязания / В. В. Гржибовский, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1970. – № 2. – С. 134–138.
239. Полонский В. А. Модель основовязального процесса / В. А. Полонский [и др.] // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1984. – № 6. – С. 112–116.
240. Геранина Л. М. Исследование автоматического регулятора натяжения нитей основы с силовым воздействием на нитенатяжное устройство / Л. М. Геранина, В. М. Бондарь, В. А. Радзиевский // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1976. – № 6. – С. 128–133.
241. Вакс Е. Э. Измерение натяжения нитей / Е. Э. Вакс. – М. : Легкая индустрия, 1966. – 231 с.
242. Кононова Е. В. Исследование поперечных колебаний нити на основовязальной машине / Е. В. Кононова, Б. С. Окс // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1972. – № 5. – С. 116–119.
243. Кононова Е. В. О расчетной схеме нитенатяжного устройства на быстроходной основовязальной машине / Е. В. Кононова, Б. С. Окс // Машины и технология текстильного и трикотажного производства : сб. науч. трудов – Рига : РПИ. – 1973. – С. 82–87.
244. Кононова Е. В. Исследование системы нитеподдачи основовязальной машины регулирующей величину подачи нити в

зависимости от их натяжения / Е. В. Кононова, Б. С. Окс // Исследования и оптимизация процессов текстильной технологии : сб. науч. трудов. – Рига : РПИ, 1982. – С. 85–91.

245. Кононова Е. В. Совершенствование процесса нитеподдачи на основовязальной машине : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Е. В. Кононова. – Рига, 1982. – 192 с.

246. Тройникова О. К. Математическое моделирование работы нитенатяжного устройства быстроходных основовязальных машин / О. К. Тройникова, Ф. А. Моисеенко // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1990. – № 3. – С. 73–81.

247. Экспериментальная функция необходимой подачи нитей основы на машине “Кокетт–2” / Ф. А. Моисеенко, О. К. Тройникова, В. В. Чабан, Г. Б. Параска // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1991. – № 2. – С. 72–76.

248. Тройникова О. К. Нормализация процесса вязания на основовязальных машинах типа “Кокетт” с целью повышения эффективности производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.03 / О. К. Тройникова. – К., 1991. – 143 с.

249. Хомяк О. Н. Анализ работы нитенатяжного устройства основовязальной машины модели 5219 “Кокетт–2” как компенсатора подачи и потребления нитей основы / О. Н. Хомяк, Г. Б. Параска // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1984. – № 4. – С. 105–107.

250. Параска Г. Б. Функциональная оценка работы нитенатяжного устройства основовязальной машины модели 5219 “Кокетт–2” / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1985. – № 6. – С. 91–94.

251. Параска Г. Б. Исследования влияния направления сдвига гребенки ушковых игл на функцию потребления нитей основовязальной машины / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1986. – № 1. – С. 101–106.

252. Параска Г. Б. Возможности использования на быстроходных основовязальных машинах нитенатяжных устройств активного действия / Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1986. – № 4. – С. 107–110.

253. Аль-Фріхад Абдель Рахман. Математична модель компенсатора натягу ниток основы текстильних машин / Аль-Фріхад Абдель Рахман, О. Н. Хомяк, Г. Б. Параска // Вісник Технол. ун-ту Поділля. – Хмельницький : ТУП, 1998. – Сер. 1. – С. 58–62.

254. Разработка ротационного нитенатяжного устройства активного действия для основовязальной машины / В. В. Чабан, О. М. Хомяк, Г. Б. Параска, В. И. Чупринка ; Гос. акад. легк. пром-сти Украины. – К., 1988. – 32 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ Легпром 19.01.88, № 2321-лп.
255. Экспериментальные исследования ротационного нитенатяжного устройства активного действия для основовязальной машины / В. В. Чабан, О. М. Хомяк, Г. Б. Параска, В. И. Чупринка ; Гос. акад. легк. пром-сти Украины. – К., 1988. – 45 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ Легпром 19.01.88, № 2320-лп.
256. Хомяк О. М. Числові дослідження ефективності роботи компенсатора натягу ниток основи / О. М. Хомяк // Придніпровський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 1998. – № 95. – С. 73–77.
257. Kopyas K. Kinytyka przedzy w procesie dziania / K. Kopyas // Przegląd Włokienniczy. – 1985. – № 6. – S. 257–259.
258. Kopyas K. Mechanismus an Kettenwirkmaschinen / K. Kopyas // Melliland Textilberichte. – 1986. – № 3. – S. 177–181.
259. Макаров И. Т. О влиянии натяжения нитей основы на движение скала / И. Т. Макаров // Науч. труды ВНИИЛТекмаш. – 1961. – № 7. – С. 31–38.
260. Колотилов С. И. Необходимое условие стабилизации статической составляющей натяжения нитей основы на станке СТБ / С. И. Колотилов, Е. А. Чистяков, И. А. Артемьев // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1980. – № 5. – С. 50–53.
261. Ефремов Е. Д. Взаимодействие основы с подвижным скалом ткацкого станка / Е. Д. Ефремов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1980. – № 1. – С. 41–44.
262. Ефремов Е. Д. Изменение деформации основной нити на скале / Е. Д. Ефремов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1985. – № 1. – С. 46–48.
263. Петров Н. А. Обобщенная модель скальной системы современных ткацких станков / Н. А. Петров, А. С. Гайдай // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1988. – № 4. – С. 88–91.
264. Забелин В. И. Исследование подвижной системы скала ткацкого станка с двумя степенями свободы / В. И. Забелин, Л. М. Забелина // Технология текст. пром-сти. – 1984. – № 1. – С. 101–105.
265. Тимощук А. А. Нагонный механизм с автоматическим изменением угла охвата / А. А. Тимощук, В. А. Линник, Ю. Л. Шильдер // Технология текстильной пром-сти. – 1989. – № 3. – С. 92–95.

266. Ефремов Д. Е. О математической модели нагонного механизма / Д. Е. Ефремов, В. Е. Ефремов, Е. Д. Ефремов // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1991. – № 2. – С. 94–98.
267. Кузнецов Б. А. Механизмы компенсации и натяжения нитей основы / Б. А. Кузнецов, В. М. Одинцов // Механизмы современных основовязальных машин. – М. : ЦНИИТЭИлегпищемаш. – 1969. – С. 16–20.
268. Салов В. З. К расчету устройств компенсации и натяжения нитей основовязальных машин / В. З. Салов, К. М. Бахматов // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1976. – № 5. – С. 106–109.
269. Севастьянов А. Г. Моделирование технологических процессов / А. Г. Севастьянов, П. А. Севастьянов. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 344 с.
270. Семенов В. А. Моделирование механических процессов производства нетканых материалов / В. А. Семенов, Е. Н. Бершев. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 102 с.
271. Backmann R. Modellierung der Fadenzuführung in Maschinen zur Herstellung textiler Flachengebilde / R. Backmann // Textiltechnik. – 1986. – № 10. – S. 518–520.
272. Masajtis J. Rechnersimulation der Kettzuführung an breiten Webmaschinen mit zwei Kettbaumen / J. Masajtis // Melliand Textilberichte. – 1990. – № 8. – S. 589–592.
273. Петренко А. И. Основы автоматизации проектирования / А. И. Петренко. – К. : Тэхника, 1982. – 295 с.
274. Петренко А. И. Автоматизация схмотехнического проектирования в машиностроении / А. И. Петренко, В. В. Ладогубец, В. В. Чкалов. – К. : УМК ВО, 1988. – 180 с.
275. Петренко А. И. Оптимальное схмотехническое проектирование в машиностроении / А. И. Петренко, В. В. Ладогубец, В. В. Чкалов. – К. : УМК ВО, 1989. – 164 с.
276. Plock S. Malimo-Nahwirktechnologien / S. Plock, P. Botcher, D. Scharch. – Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 1978. – 464 s.
277. Моисеенко Ф. А. Устройство для стабилизации процесса вязания на основовязальных машинах типа “Жокетт” / Ф. А. Моисеенко, О. К. Тройникова // Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. – 1990. – № 6. – С. 125–126.
278. Милюков Е. А. Стабилизация натяжения основы на станке АТПР-120-ЛМ / Е. А. Милюков // Текстильная пром-сть. – 1990. – № 1. – С. 40.
279. Ефремов Е. Д. Статическая составляющая натяжения нитей основы на лентоткацком станке ТЛБ-40 / Е. Д. Ефремов,

- А. В. Постников // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1981. – № 4. – С. 40–42.
280. Гордеев В. А. Об изменении натяжения нитей основы на станках СТБ в условиях различных технологических заправок / В. А. Гордеев, В. М. Лейзина // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1981. – № 4. – С. 37–40.
281. Neogi S. K. How to control tension variation of warp yarn / S. K. Neogi, B. S. Mukherjee // Indian Text. J. – 1978. – Vol. 88, № 4. – P. 149–155.
282. Основы проектирования машин ткацкого производства / А. В. Дицкий, Р. М. Малафеев, В. И. Терентьев, А. А. Туваева ; под ред. А. В. Дицкого. – М. : Машиностроение, 1983. – 320 с.
283. Чабан В. В. Стенд для комплексного исследования систем нитеподачи текстильных машин / В. В. Чабан, Г. Б. Параска, О. Н. Хомяк // Вдосконалення обладнання легкої промисловості та складної побутової техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Хмельницький : ХТІ. – 1993. – С. 16.
284. Ермаков С. А. Моделирование на ЭВМ гидроприводов с безинерционными механизмами / С. А. Ермаков, А. В. Кудинов // Машиноведение. – 1983. – № 2. – С. 41–46.
285. Инженерные исследования гидроприводов летательных аппаратов / Д. Н. Попов, С. А. Ермаков, И. Н. Лобода [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 142 с.
286. Бокарев В. А. Расчет на ЦВМ основных конструктивных параметров и статических характеристик многоканальных дросельных приводов / В. А. Бокарев, С. А. Ермаков, М. П. Селиванов // Вестник машиностроения. – 1975. – № 4. – С. 7–11.
287. Гроссшмидт Г. Т. Применение теории многополюсников и сигнальных графов к расчету характеристик объемных гидроприводов на ЭЦВМ / Г. Т. Гроссшмидт // Труды Таллинского политех. ин-та. – 1975. – № 391. – 28 с.
288. Кахро М. И. Инструментальная система программирования / М. И. Кахро, А. П. Калья, Э. Х. Тыгу. – М. : Физматгиз, 1980. – 156 с.
289. Автоматизированное проектирование следящих приводов и их элементов / В. Ф. Казмиренко [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
290. Арайс Е. А. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ / Е. А. Арайс, В. М. Дмитриев. – М. : Радио и связь, 1982. – 160 с.

291. Илюхин Ю. В. Особенности моделирования на ЦВМ динамики комплекса гидроприводов дроссельного регулирования / Ю. В. Илюхин, В. И. Лобачев // Пневматика и гидравлика. – М. : Машиностроение, 1977. – Вып.6. – С. 46–55.
292. Клюкин Н. Г. Машинное проектирование нелинейных систем автоматического проектирования / Н. Г. Клюкин, Л. П. Чхартишвили // Достижения и перспективы развития вычислительной техники. – К. : УКРНИНТИ, 1975. – Вып. 1. – С. 20–21.
293. Матвиенко А. М. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов / А. М. Матвиенко, И. И. Зверев. – М. : Машиностроение, 1982. – 296 с.
294. Остроухова И. Г. Автоматизированное проектирование принципиальных гидросхем / И. Г. Остроухова, Ю. П. Поляков // Гидравлические системы металлорежущих станков. – 1984. – № 7. – С. 180–185.
295. Павлов Б. И. Алгоритмизация при синтезе механизмов / Б. И. Павлов // Алгоритм проектирования схем механизмов. – М. : Наука, 1979. – С. 149–162.
296. Лобачев В. И. Применение САПР при проектировании гидравлических агрегатов и систем / В. И. Лобачев // Hydraulic und Pneumatic. – 1984. – Vol. 28, № 3. – С. 141.
297. Kinoglu F. Analysing hydraulic system through computer integration / F. Kinoglu, D. Riley, M. Donath // Hydraulic and Pneumatic. – 1985. – Vol. 38, № 11. – P. 88–112.
298. Luomaranta M. K. CAD in hidraulic system design / M. K. Luomaranta, M. J. Velenius, J. A. Rinkinen // Hydraulic and Pneumatic. – 1985. – Vol. 38, № 11. – P. 226–230.
299. Мильман А. Я. Исследования переходных процессов в натяжении нитей при их транспортировке фрикционными роликами / А. Я. Мильман // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1964. – № 4. – С. 126–133.
300. Жук К. Д. Построение современных систем автоматизированного проектирования / К. Д. Жук. – К. : Наукова думка, 1983. – 204 с.
301. Ильин В. Н. Разработка и применение программ автоматизированного схемотехнического проектирования / В. Н. Ильин, В. Л. Коган. – М. : Радио и связь, 1984. – 368 с.
302. Норенков И. П. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры / И. П. Норенков, В. Б. Маничев. – М. : Высш. школа, 1983. – 272 с.

303. Чхатишвили Г. С. MASS – система автоматизированного проектирования САУ / Г. С. Чхатишвили, И. В. Починок // Труды МЭИ. – 1978. – Вып. 386. – С. 35–39.
304. Малиновский Е. Ю. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Е. Ю. Малиновский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 216 с.
305. Арайс Е. А. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем / Е. А. Арайс, В. М. Дмитриев. – М. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
306. Seely S. Dynamic System Analysis / S. Seely. – N. Y. : Reinhold Publishing Corp., 1964. – 268 p.
307. Ленк А. Электромеханические системы. Системы с сосредоточенными параметрами / А. Ленк. – М. : Мир, 1978. – 283 с.
308. Кениг Г. Е. Теория электромеханических систем / Г. Е. Кениг, В. А. Блекуэлл. – М. : Энергия, 1965. – 423 с.
309. Райншке К. Модели надежности и чувствительности систем / К. Райншке. – М. : Мир, 1979. – 452 с.
310. Бердников В. В. Прикладная теория гидравлических цепей / В. В. Бердников. – М. : Машиностроение, 1977. – 192 с.
311. Бердников В. В. Разработка элементов систем автоматизированного проектирования пневмогидравлических систем / В. В. Бердников // Пневматика и гидравлика. – М. : Машиностроение, 1984. – Вып. 10. – С. 89–97.
312. Гликман Б. Ф. Математические модели пневмогидравлических систем / Б. Ф. Гликман. – М. : Наука, 1986. – 368 с.
313. Rubner-Petersen. Nonlinear Analysis Program for Electronic Circuits / Rubner-Petersen. – Lyngby : Technical University of Denmark, 1973. – 76 p.
314. Петренко А. И. Обобщенная характеристика пакета прикладных программ для решения задач схемотехнического проектирования / А. И. Петренко [и др.] // Электронное моделирование. – 1979. – № 2, т. 1. – С. 68–79.
315. Петренко А. И. Подсистема ПРАМ-01 анализа и оптимизации радиоэлектронной аппаратуры / А. И. Петренко, А. П. Тимченко, В. В. Ладогубец // Теоретические и прикладные вопросы разработки, внедрения и эксплуатации САПР РЭА. – М. : МАИ, 1984. – С. 60–64.
316. ПРАНС-ПК. Описание применения. 5.200.2 00001-01 : инструкция. – М., 1991. – 28 с.

317. ПРАНС-ПК. Инструкция пользователя. Проектирование механических приводов и систем. 5.200.2 00001-01 : инструкция. – М., 1992. – 46 с.
318. Петрова В. Изменение натяжения нитей в цикле петлеобразования на основовязальной машине / В. Петрова, В. Хаваш // Техника и технология трикотажного производства. – Минск : Вышэйшая школа. – 1980. – С. 25–30.
319. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.
320. Алявдин Н. А. О статистической обработке выборки с малым числом наблюдений / Н. А. Алявдин // Научные труды. – М. : МТИЛП, 1957. – № 9. – С. 289–292.
321. Параска Г. Б. Математична модель двомассового стабілізатора натягу ниток основи текстильних машин / Г. Б. Параска, А. Р. Марчук // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1998. – № 2. – С. 119–127.
322. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики. В 2 ч. Ч. 1 / Н. Н. Бухгольц. – М. : Наука, 1969. – 467 с.
323. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 831 с.
324. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Л. С. Понтрягин. – М. : Наука, 1970. – 331 с.
325. Научные и практические основы проектирования исполнительных элементов механических и гидравлических систем : отчет о НИР (заключ.) / Гос. акад. легк. пром-сти Украины ; рук. О. Н. Хомяк ; исполн.: И. В. Петко, В. В. Чабан. – К., 1998. – 257 с. – № ГР 0196U005494.
326. Гонткевич В. С. Собственные колебания пластинок и оболочек / В. С. Гонткевич. – К. : Наукова думка, 1964. – 288 с.
327. Филипов А. П. Колебания механических систем / А. П. Филипов. – К. : Наукова думка, 1965. – 716 с.
328. Михлин С. Г. Вариационные методы в математической физике / С. Г. Михлин. – М. : Наука, 1970. – 512 с.
329. Сорокин Е. С. Динамика междуэтажных перекрытий / Е. С. Сорокин. – М. : Стройиздат, 1941. – 240 с.
330. Пат. 27377 Україна. МПК D 04 B 27/10. Ниткона-тяжний пристрій для основов'язальної машини / Г. Б. Параска, Ф. А. Мойсеєнко (Україна). – № ВЗВ06929 ; заявл. 18.11.1993 ; опубл. 15.09.2000, Бюл. № 4. – 5 с.

331. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг, Е. Со-рокин ; пер. с нем. – М. : Мир, 1985. – 520 с.
332. Писаренко Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Пи-саренко [и др.]. – К. : Вища школа, 1986. – 775 с.
333. Пономарев С. Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С. Д. Пономарев, Л. Е. Андреева. – М. : Машинострое-ние, 1980. – 326 с.
334. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Ти-мошенко, Д. Х. Янг, У. Д. Уивер ; пер. с англ. – М. : Машинострое-ние, 1985. – 472 с.
335. Поліщук О. С. Використання інформаційних техноло-гій “National Instruments” для лабораторних і наукових досліджень машин легкої промисловості та електробудової техніки / О. С. По-ліщук, С. Л. Горященко, Д. В. Прибега // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – 2008. – № 2. – С. 175–180.