

УДК 677.054

## ТКАЦКИЙ СТАНОК КАК КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

С. Н. ТИТОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Продолжая решение задачи динамического анализа ткацкого станка, начатое в [1], отметим, что разные авторы в той или иной мере оценивают динамическую картину ткацкого станка и подобных механических систем разветвленной структуры по изменению частоты вращения главного вала за цикл, учитывая при этом упругую или вязкоупругую характеристику двигателя [2], [3], частоты собственных колебаний отдельных механизмов [4], податливость передач [3], [4] и влияние зазоров [2], [3].

При этом (согласно классификации цепных механических систем [2], [3]) подавляющее большинство машин текстильной, легкой и полиграфической промышленности относят [2] к классу I модификации 2 (последовательные цикловые механизмы с несколькими степенями свободы и нелинейными функциями положения, в которых технологические нагрузки пренебрежимо малы по сравнению с силами инерции) или – к классу II модификации 1 (параллельно-последовательные соединения элементов) и модификации 2 (параллельные ветви замыкаются, образуя замкнутые контуры).

Динамическая модель ткацкого станка, согласно [4], представляет собой разветвленную структуру с частично замкнутыми контурами. По этой схеме, например, детально проанализированы [4] колебательные процессы в батанных механизмах станков П-105 и АТПР-120, где теоретически определены и экспериментально подтверждены частоты собственных крутильных колебаний подбатанного и главного

валов. При этом минимальная частота собственных колебаний (станок АТПР-120) не опускается ниже 86,5 Гц для подбатанного и 180 Гц – для главного валов. Там же [4] приводятся данные, что для станков СТБ эти частоты не ниже 200 Гц (станок СТБ-330), и отмечается, что при существующих, на порядок более низких, частотах вращения главного вала динамическое взаимовлияние частот невелико, что позволяет ограничиться исследованием динамических моделей механизмов с жестким главным валом.

Диаметрально противоположные выводы сделаны [2] при учете податливости двигателя, где отмечается, что в текстильных машинах применяются асинхронные электродвигатели с повышенным скольжением, "жесткость" ротора которых может упасть до 0,5 от номинального момента на его валу, тогда как для двигателей с жесткой механической характеристикой эта величина доходит до  $20M_n$  [2, с. 136]. Здесь же делается вывод, что при исследовании динамики машинного агрегата с большой "податливостью" динамической характеристики двигателя остальную кинематическую цепь можно считать абсолютно жесткой или ограничиться учетом наиболее податливых упругих элементов.

Ткацкие станки СТБ оснащаются, в зависимости от ширины и назначения, электродвигателями номинальной мощностью от 1,7 до 3,2 кВт с синхронной частотой вращения от 750 до 1500 об/мин и скольжением при номинальной мощности от 9 до 11 % [5]. Этих данных достаточно для определения, согласно [6], жесткости ме-

ханической характеристики двигателя на рабочем участке (при изменениях крутящего момента на валу двигателя от  $0,5M_n$  до  $1,5M_n$ ). В результате получаем диапазон вариации жесткостей от 98 Н·м (для более скоростных двигателей) до 452 Н·м (для двигателей с  $n_0=750$  об/мин).

Низкоскоростные двигатели устанавливаются на более тяжелые и широкие станки, частота вращения главного вала которых находится в пределах 190...270 об/мин. Более легкие и узкие станки приводятся более скоростными двигателями. Диапазон частот вращения их главного вала — от 240 до 390 об/мин. Учитывая эти параметры, получаем диапазоны приведенных к главному валу жесткостей двигателя от 1150 до 3100 Н·м для узких станков и от 2820 до 5700 Н·м — для широких. При максимальных приведенных к главному валу моментов инерции всех, включая ротор двигателя, подвижных масс станка диапазоны минимальных собственных частот оказываются близкими как для узких (от 3,8 до 6,3 Гц), так и для широких (от 4,2 до 6,7 Гц) станков.

Согласно [4] изменение приведенных к главному валу моментов инерции масс и жесткостей механизмов станка за цикл не увеличивает его собственных частот более чем на 10 %. Поэтому весь диапазон возможных собственных частот оказывается равным 225...440 об/мин (большие значения соответствуют низким частотам вращения главного вала, меньшие — высоким).

Совпадение диапазонов собственных частот с рабочими диапазонами частот вращения главного вала позволяет оценивать динамический режим ткацкого станка как резонансный. При этом скоростные станки должны работать в зарезонансном режиме, тихоходные — в дорезонансном. Очевидно, что резонансный и дорезонансный режимы должны проявляться преобладающими 1-й или, соответственно, более высокими (при наших данных не выше 3-й) гармониками при разложении в ряд Фурье зависимости скорости главного вала

от его положения, а сам ряд должен быстро сходиться (количество значимых гармоник должно быть небольшим).

Для проверки такой модели и соответствующих выводов мы использовали данные экспериментальных исследований зависимостей скорости вращения главного вала от его положения, имеющиеся в различных источниках:

1. СТБ У2-180 — при средней частоте вращения главного вала  $n_0=391$  об/мин [7].
2. АТ-100 — при  $n_0=243$  об/мин [8].
3. СТБ-330 — при  $n_0=191$  об/мин [4].

Для достоверной оценки динамического режима по количеству значимых субгармоник требуется ряд Фурье, представленный достаточно большим числом членов (несколько сотен). Если для восстановления исходной функции с небольшой погрешностью (коэффициент вариации не более 5 %) будет достаточно небольшого количества (до 3 % от исходного) гармоник, можно говорить о резонансном или близком к резонансному дорезонансном режиме. Согласно критерию Колмогорова [9] периодическая функция, заданная на  $n$  интервалах, раскладывается с минимальной ошибкой в гармонический ряд, представленный  $\left[ \frac{n}{2} \right]$  членами, то есть исходная функция должна быть задана на количестве интервалов, вдвое превышающем необходимое число гармоник.

С этой целью нами разработаны специальные алгоритмы и программы, осуществляющие фильтрацию и оцифровку графиков из сканированных (разрешение не менее 300 dpi) с первоисточников иллюстраций, их масштабирование по известным из пояснений к иллюстрациям критериальным данным, разложение в ряд Фурье, сортировку результатов, отбор значимых гармоник по заданным пользователем ограничениям и логическим условиям, восстановление функции из отобранных гармоник и сохранение результатов в текстовых и графических файлах.

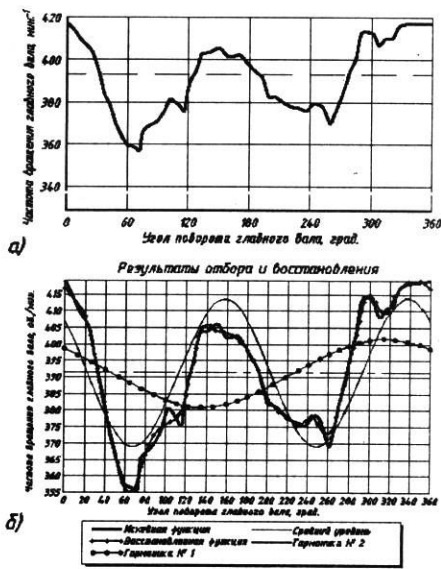


Рис. 1

Предварительный анализ результатов отбора (один из вариантов приведен на рис. 1 – анализ вращения главного вала станка СТБ У2-180: а) исходная зависимость; б) результаты анализа) показал, что во всех трех случаях мы имеем дело с дорезонансным режимом, частоты ведущих гармоник в 2...3 раза превышают частоты вращения главного вала, а фазовые сдвиги ведущих гармоник таковы, что их первые минимумы совпадают с моментом прибоя. Минимум кинетической энергии должен совпадать по фазе с максимумом потенциальной, накапливающейся в основном упругом звене системы.

Таким звеном, по нашему мнению, является упругая система заправки. Если такое предположение верно, то гармонический анализ натяжения основы или ткани должен выявить ту же гармонику в качестве ведущей, но в противофазе по отношению к разложениям кинематических характеристик, так как уровень потенциальной энергии системы определяется в основном натяжением упругой системы заправки.

С этой целью мы по той же методике провели гармонический анализ осцилло-

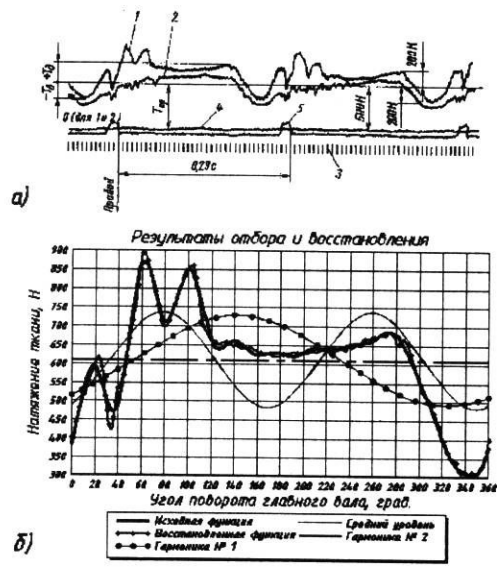


Рис. 2

граммы натяжения ткани на станке СТБ-216, приведенной на рис. 157 из [10]. Репродукция осциллограммы представлена на рис. 2-а, а результаты анализа – на рис. 2-б. Этот анализ полностью подтверждает наше предположение.

Основные числовые результаты гармонического анализа всех четырех упомянутых вариантов экспериментальных данных сведены в табл. 1.

В третьем варианте, в отличие от остальных, основной гармоникой является 3-я, что также подтверждает гипотезу об основном влиянии упругой системы заправки на динамику ткацкого станка, так как в этом случае жесткость основы существенно выше, а частота вращения главного вала ниже, чем в остальных случаях.

Последний минимум основной гармоники параметров вращения главного вала соответствует максимуму основной гармоники натяжения, которое в это время растет при отсутствии силовых воздействий от рабочих органов. Это также подтверждает превалирующее влияние колебательных процессов, сопровождающееся "игрой" ламелей.

Вариант [источник]	Всего гармоник	Отобрано гармоник		Характеристика отбора (по первым 5 гармоникам)			
		штук	%	порядок следования	амплитуды	коэффициент вариации, %	
						по по- рядку	всего отбора
1 [7]	524	8	1,53	2	22,08	28,46	4,61
				1	10,32	16,53	
				5	3,77	14,21	
				3	3,48	11,87	
				7	3,44	9,02	
2 [8]	359	5	1,39	2	12,44	16,1	3,92
				1	2,58	13,09	
				4	2,4	9,76	
				5	2,21	5,55	
				6	1,08	3,92	
3 [4]	491	19	3,87	3	25,27	35,9	4,82
				2	18,25	28,03	
				1	12,35	23,56	
				5	10,16	19,97	
				10	9,38	16,3	
4 [10]	359	10	2,78	2	128,92	34,26	4,71
				1	120,6	19,12	
				8	37,91	16,91	
				7	34,02	14,89	
				3	30,62	13,02	

## ВЫВОДЫ

1. Ткацкий станок следует рассматривать как колебательную систему, основным упругим элементом которой является упругая система заправки.

2. Гармонический анализ, включающий в себя отбор значимых гармоник с последовательным восстановлением исходного процесса, применим к ткацкому станку.

3. Рост натяжения упругой системы заправки в конце выстоя ремиз объясняется именно колебательными процессами в ткацком станке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Г.К., Кулемкин Ю.В., Титов С.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2003, № 1, С. 93...96.
2. Вульфсон И.И. Динамические расчеты цикловых механизмов. — Л.: Машиностроение, 1978.
3. Динамика машин и управление машинами: Справочник // В. К. Асташев, В. И. Бабицкий, И. И. Вульфсон и др./ Под ред. Г. В. Крейнина. —

М.: Машиностроение, 1988.

4. Коритынский Я.И. Колебания в текстильных машинах. — М.: Машиностроение, 1973.

5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 3. — 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001.

6. Попов С.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин / Под ред. К. В. Фролова. — М.: Высшая школа, 1986.

7. Гордеев Н.И. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1994, № 3, С. 71...75.

8. Мостейкис В.С., Мартынов А.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1967, № 3. С. 128...131.

9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — М.: Наука, 1986.

10. Основы проектирования машин ткацкого производства: Учебник для студентов ВТУЗов / Под общ. ред. А.В. Дицкого. — М.: Машиностроение, 1983.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 19.11.04.