

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ УЗЛА СКАНИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОРТИМЕНТОВ

**Введение.** Одной из основных операций, выполняемых на деревообрабатывающих предприятиях, является обмер и сортировка круглых лесоматериалов. По ее результатам лесоматериалы установленного назначения (сортименты) разделяются на потоки, поступающие для переработки к различным видам оборудования. Существующие визуальные способы измерения геометрических параметров круглых лесоматериалов достаточно субъективны и не отвечают условиям получения качественной информации для правильного выполнения технологических операций. Известные автоматизированные измерительные устройства позволяют анализировать криволинейные и плоские поверхности в одном или двух направлениях. Процесс сортировки связан с формированием координатной базы размеров. Наиболее ответственным узлом измерительного комплекса является узел сканирования, позволяющий измерять геометрические параметры в проходном режиме (на продольном конвейере). Результаты измерений обрабатываются с помощью компьютерной системы или специализированным контроллером в соответствии с заданной программой, что позволяет рассчитать средний и максимальный диаметры и прочие геометрические свойства каждого сортимента, а также определить его физический объем. Точность определения этих параметров зависит от конструктивных особенностей сканирующих узлов и характеристик применяемых преобразователей. В координатно-измерительных системах применяются различные виды преобразователей, отличающихся по функциональным признакам.

Обширную группу устройств представляют приборы, работающие с инфракрасными излучателями (например, измеритель бревен производства компании «Автоматика-Вектор», г. Архангельск). В их конструкцию входят: контроллер, две или четыре измерительные линейки, которые при измерении бревна располагаются вертикально по обеим его сторонам. На каждой линейке имеется множество инфракрасных излучателей и приемников. В момент обнаружения объекта прибор автоматически переключается в режим измерения. Результатом измерений являются все геометрические параметры бревна. Функционально похожий прибор производится и еще одной российской фирмой «Воронежпромавтоматика» – это измеритель диаметров и длин бревен ИДД-2.

В современных сканирующих системах используется также оптико-звуковой способ измерения. Например, при помощи универсальной измерительной установки «Экорондер» фирмы Hecht-Electronic (Германия) можно выполнять перекрестное измерение бревен. Аналогичный измеритель бревен от фирмы Baljer & Zembrod (Германия) имеет подвижный передатчик и неподвижно закрепленный приемник с устройством для обработки полученных данных. В течение всего процесса измерения производится контроль погрешности измерений, а оптические и ультразвуковые датчики подвергаются функциональному контролю. Во время измерений скорость подачи сортиментов ограничивается 60 м/мин. Прибор, использующий ультразвук, есть и в арсенале «Автоматика-Вектор» – называется он Vektor-Sonic. Этот прибор в одной плоскости использует обычные инфракрасные линейки, а в другой – ультразвуковые датчики дистанции.

Сканирующие устройства на основе лазерных датчиков поточечного измерения функционируют следующим образом: пучок света, испускаемый лазером (как правило, это лазерный диод), проецируется на измеряемый объект. Пятно отраженного луча отображается на оптоэлектронном датчике. Позиция измеряемой точки определяется подходящим для этого способом. Триангуляционные датчики часто применяются в целях автоматизации технологических измере-

ний, в соответствии со следующим принципом: лазерный пучок и ось воспроизводящего оптического оборудования датчика охватывают угол измерения в несколько десятков градусов. Лазерный передатчик, измеряемая точка и датчик формируют треугольник, который затем используется для определения расстояния через тригонометрические отношения (или триангуляцию). Результат измерения сильно зависит от структуры и угла наклона поверхности, что выражается в относительно высоких погрешностях измерения. Лучших результатов можно добиться с помощью лазерных датчиков, работающих по принципу Фуко. Этот принцип заключается в использовании угла апертуры воспроизводящего оптического оборудования датчика в качестве триангуляционного угла. Вместо лазерного пятна на объекте отображается лезвие ножа Фуко, расположенное на траектории пучка света. Оценка характеристик сигналов выполняется посредством дифференциального фотодиода.

В настоящее время наиболее широко для измерения геометрии поверхностей применяются теневой и триангуляционный метод. Их совокупность дает возможность определить форму поверхности, ее дефекты, а также профиль поверхности изделия. Однако массовое применение их ограничено. Этому способствует ряд причин. При использовании теневого метода возникают ограничения, связанные с быстродействием, размерами рабочей зоны и синхронизацией результатов измерений нескольких измерителей. Лазерные триангуляционные измерители развиваются наиболее активно («РИФТЭК» Беларусь; РФ603HS, Россия; "MEL", Германия), TriAngle, KHP), однако их массовое применение также ограничено. Причина этого в том, что производители рассчитывают работу своих приборов с поверхностями, имеющими равномерное рассеяние и расположенными ортогонально зондирующему лазерному пучку, т.е. для измерения координат поверхности сортиментов, такие приборы не совсем подходят. Очень часто в процессе работы таких систем приходится считаться с погрешностями, возникающими при измерении различных параметров. При этом ошибки в размерных параметрах накапливаются, что приводит к снижению точности в устройствах измерения и контроля.

Для оптимизации работы производственного оборудования в деревообрабатывающей промышленности применяются различные виды сканирующих устройств и систем. Одной из важных задач, решаемых с помощью таких систем, является измерение координат точек поверхности сортиментов, с целью формирования трехмерных моделей, измерения значений средних диаметров, определения точек центра сечения. Устройства отличаются особенностями конструкции, применяемыми преобразователями и методами измерения и контроля. Проведенный обзор существующих методов и устройств подтверждает, что одним из наиболее точных измерительных преобразователей являются оптические датчики. От количества датчиков существенно зависит точность преобразования данных и, как следствие, адекватность сформированной впоследствии модели [2].

Таким образом, комплексное решение вопросов, способствующее повышению точности сканирующих устройств для круглых лесоматериалов, является актуальной научно-технической проблемой, имеющей важное практическое значение.

Цель данного исследования – установить конструктивные особенности сканирующих устройств, влияющие на качественные показатели процесса измерения, провести анализ технических параметров преобразователей для выбора наиболее подходящих типов. Разработать методы повышения точности измерения и контроля расстояний, характеризующие координаты поверхности сортимента

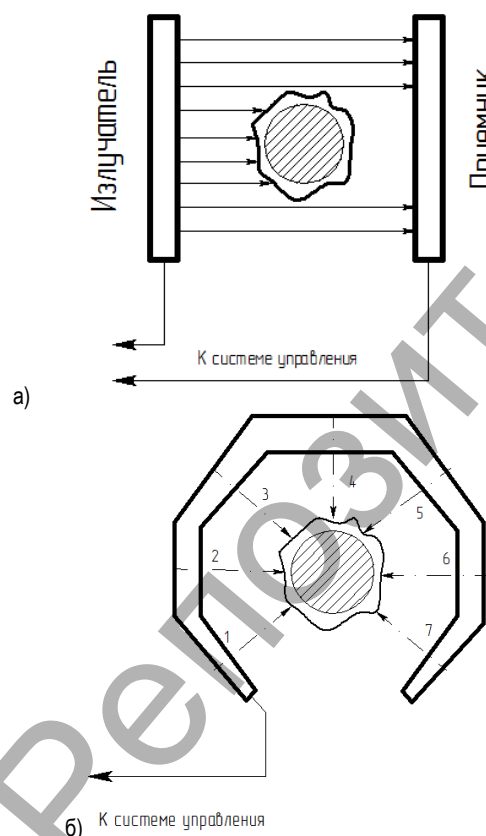
**Бакулин Борис Александрович**, аспирант кафедры оборудования и автоматизации производства Барановичского государственного университета.

Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

и исследовать методы и средства, позволяющие создать высокоточные сканирующие устройства координат поверхности, входящие в состав измерительных комплексов.

Повышение информативности измерительных операций, совершенствование методов обработки информации, технических средств измерения, контроля и учета геометрических параметров являются основными направлениями разработки и создания современных эффективных технологий и производственного оборудования. Перспективным направлением в определении геометрических параметров древесного сырья, является внедрение измерительных комплексов на основе современных оптических преобразователей расстояния. Такие комплексы находят широкое применение в лесной и деревообрабатывающей промышленности. Узел сканирования координат поверхности определяет основную функциональную характеристику измерительного комплекса.

С экономической точки зрения самый недорогой способ измерений – теневой (рис. 1а). Для контроля размерных параметров в измерителе используются измерительные линейки. Совокупность линеек образует измерительный створ. Для определения размерных параметров и управления применяется микроконтроллер, который управляет включением в определенном порядке излучателей, благодаря чему в створе измерения образуется очень плотная сеть лучей. При этом расстояние между двумя соседними лучами составляет 1,7 мм, а общее количество лучей достигает 450. При отсутствии бревна в створе измерения измеритель работает в режиме сканирования контрольной зоны в поисках бревна. В момент попадания в створ измерения любого объекта измеритель переходит в режим измерения и по числу перекрытых лучей определяет величину объекта (рис. 1).



а) измерение параметров теневым методом; б) измерения координат точек поверхности

Рис. 1. Схемы сканирующих узлов

Проведенные исследования на основе параметрических трехмерных моделей [2] показали, что относительная погрешность при измерении объема сортиментов таким способом составляет 5–18% (для разных по форме и диаметрам сортиментов). Очевидно, что такой способ не подходит для точного измерения координат поверхности при

базировании сортиментов в фанерном производстве, определения объемов лесоматериалов, коэффициентов объемного выхода полезной продукции. Более высокую точность измерений обеспечивает координатный лазерный измеритель (рис. 1б). Точность измерения для таких устройств в значительной степени зависит от конструкции измерительной рамы и количества применяемых оптических датчиков. Погрешность интерполяции площади сечения, в соответствии с данными экспериментальных исследований составила, для 5 узлов 1,92%; для 6 узлов – 0,43%; для 7 узлов – 0,02% (рис. 2).

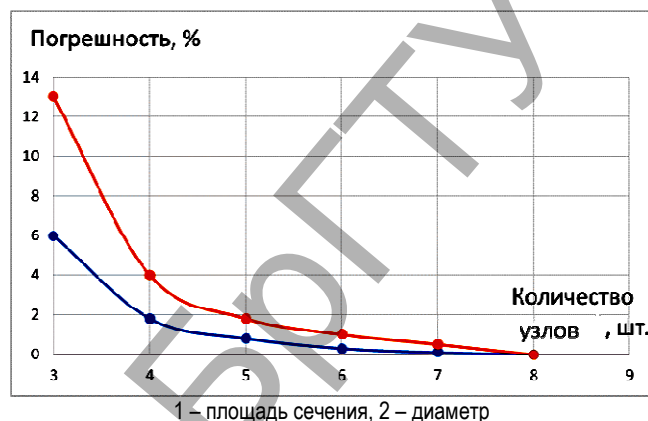
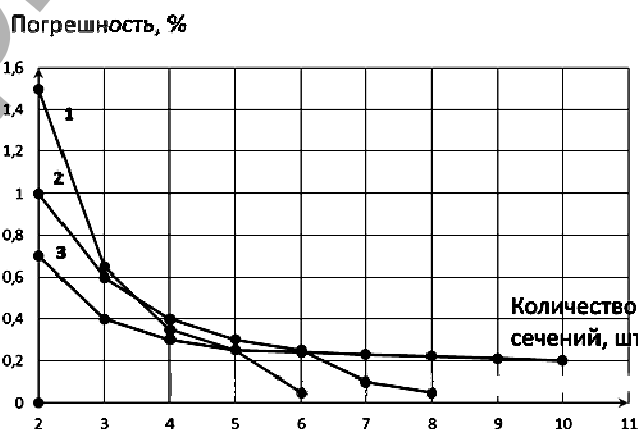


Рис. 2. Погрешность интерполяции сечения сортимента

Адекватность моделей, применяемых для измерения объемных и геометрических параметров характеризуется также количеством промежуточных сечений сортимента (рис. 3). Расположенные через определенные промежутки, такие сечения позволяют с достаточно высокой точностью сформировать модель сортимента, по которой производится расчет и измерение его геометрических параметров [2].

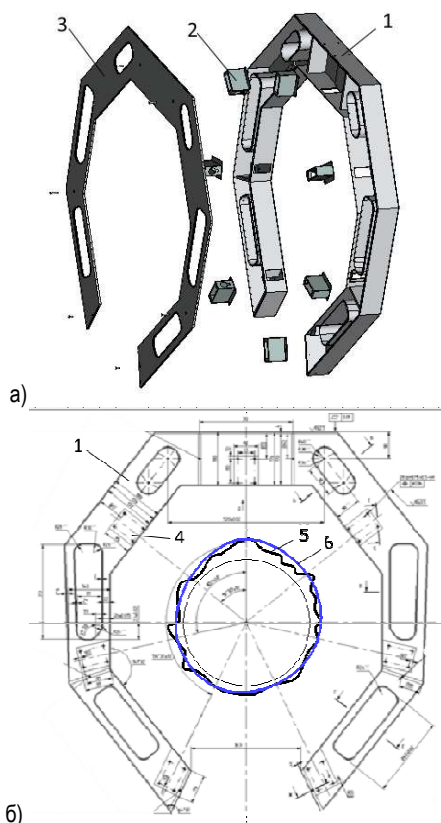


1 – изменение погрешности для диаметров сортиментов 14...20 см; 2 – изменение погрешности для диаметров сортиментов 22...36 см; 3 – изменение погрешности для диаметров сортиментов 22...36 см

Рис. 3. Погрешность измерения координат поверхности при различном количестве преобразователей

Для сравнения и анализа недостатков отдельных способов были рассмотрены различные конструкции сканирующих узлов. Модель узла сканирования на основе семи измерительных преобразователей представлена на рисунке 4.

Интерполяция образующей хлыста и полиномиальных моделей древесных стволов в соответствии с данными расчета [2] показала высокую точность сплайновых моделей образующей. При разработке моделей с помощью трехмерной системы проектирования учитывалась специфика технологии и минимальные затраты машинного времени. Такие ограничения связаны с возможностями применяемого компьютерного оборудования.



1 – основание сканирующего узла; 2 – лазерный датчик расстояния; 3 – защитная панель; 4 – место крепления датчика; 5 – первичный сечение сортамента; 6 – сечение на основе характерных точек профиля (7 датчиков)

а) конструкция узла сканирования; б) схема измерения координат точек поверхности

**Рис. 4.** Узел координатного сканирования на основе семи датчиков

Сопоставляя площади характерных сечений сортиментов определен коэффициент, характеризующий погрешность метода измерений. Среднее значение относительной погрешности –  $\delta = 0,0353$ . В результате моделирования был вычислен объем сортамента с учетом количества точек, характеризующих координаты поверхности фанерного сортамента. В таблице 1 представлены результаты расчетов.

Средняя погрешность объема: для теневого метода - 0,0030м<sup>3</sup>; для координатного метода – 0,0142 м<sup>3</sup> (выборочный метод). Существенное различие объемных показателей для выбранных методов по сравнению с первичным (эталонным) значением, снижает их результативность и точность. Несмотря на качественные показатели приборов для измерения, применение рассмотренных методов ограничено. При выборе типа преобразователя обычно учитывают статические и динамические характеристики. Для процесса измерения, выполняемого в несколько этапов (для нескольких измерительных приборов) статические характеристики имеют следующую структуру [1]:

$$y_1 = f_1(x); y_2 = f_2(y_1); \dots y_n = f_n(y_{n-1}). \quad (1)$$

При этом общая статическая характеристика прибора записывается в виде:

$$y = f_n(f_{n-1} \dots f_2[f_1(x)]). \quad (2)$$

Общая чувствительность определяется произведением чувствительностей отдельных звеньев:

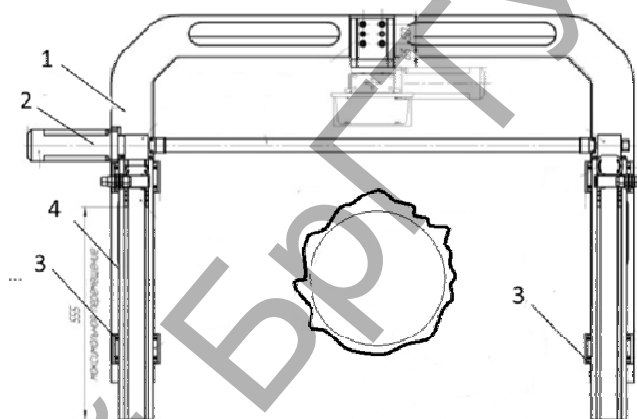
$$S = \frac{dy}{dx} = \frac{dy_1}{dy} \cdot \frac{dy_2}{dy_1} \cdot \frac{dy_3}{dy_2} \cdot \dots \cdot \frac{dy_n}{dy_{n-1}} = \prod_{i=1}^n S_i. \quad (3)$$

Исходя из приведенных соотношений следует, что при разработке измерительного устройства необходимо определить минимальное количество структурных элементов и предварительно определить

общую чувствительность по величине выходного параметра измерительной системы.

Современные сканирующие устройства имеют значительные конструктивные различия. Процесс совершенствования таких систем, как правило, направлен на повышение точности измерений, но в тоже время с экономической точки зрения, поиск решения направлен на снижение себестоимости проектируемых устройств.

Одним из результативных решений является проект сканирующего узла на основе двух датчиков (заявка № а 20110813), который входит в состав комплекса для измерения и базирования фанерных сортиментов [2].



1 – основание сканирующего узла; 2 – механизм перемещения датчиков; 3 – датчики расстояния; 4 – боковые стойки узла сканирования

**Рис. 5.** Узел координатного сканирования на основе семи датчиков

Устройство для измерения параметров и определения геометрической формы фанерных сортиментов состоит из датчиков 3 (рис. 5), расположенных на боковых стойках 4 подвижной измерительной рамы 2. Датчики передают отраженный от поверхности фанерного сортамента сигнал в систему управления. Они совершают возвратно-поступательные перемещения по наклонным боковым стойкам 6 подвижной измерительной рамы, которая перемещается вдоль фанерного сортамента. Боковые стойки подвижной измерительной рамы расположены под углом к продольной оси фанерного сортамента.

Погрешности спроектированного устройства сводятся к самым минимальным значениям. В основном они определяются динамическими и внутренними погрешностями преобразователей, а также погрешностями вызванными смещением энергетического пятна при сканировании наклонных поверхностей и поверхностей имеющих резкое изменение рельефа. В связи с выбором триангуляционных преобразователей, погрешности метода связаны с конструкцией узла сканирования, а точнее от угловых параметров при сканировании поверхности.

В соответствии с выражениями (1–3), теоретическая оценка среднеквадратической ошибки измерения, в зависимости от распределенных ошибок, входящих в данное выражение, определяющих конструктивные характеристики триангуляционного измерителя, имеет вид [3]:

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha}\right)_{\alpha}^2 (\partial \alpha)^2 + \left(\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha_1}\right)_{\alpha_1}^2 (\partial \alpha_1)^2 + \left(\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha_2}\right)_{\alpha_2}^2 (\partial \alpha_2)^2}, \quad (4)$$

где  $\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha}$ ,  $\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha_1}$ ,  $\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha_2}$  – частные производные,

$(\partial \alpha), (\partial \alpha_1), (\partial \alpha_2)$  – распределенные погрешности измерения

конструктивных параметров системы,  $\alpha$  – угол триангуляции между оптическими осями приемного и передающего каналов;  $a_1, a_2$  – расстояния от источника излучения до линзы и от линзы до плоскости

регистрации изображения,  $\Delta y = \frac{\Delta S_{a1}}{a_2 \sin \alpha - \Delta S \cos \alpha}$ , смещение

точки измерения, вызванное сложным рельефом и значением угла падения сканирующего луча,  $\Delta S$  – смещение энергетического

Таблица 1. Погрешность измерения объема для сортиментов, в зависимости от способа измерения

D сортиментов, см	Объем сортимента (теневой метод), м <sup>3</sup>	Объем сортиментов (7 датчиков), м <sup>3</sup>	Объем по результатам моделирования, м <sup>3</sup>	Погрешность объема (теневой метод)	Погрешность объема (7 датчиков)
20,5	0,0780	0,0694	0,067	0,0024	0,0110
21	0,0850	0,0756	0,073	0,0026	0,0120
21,5	0,0815	0,0725	0,07	0,0025	0,0115
21,5	0,0873	0,0776	0,075	0,0026	0,0123
22	0,0768	0,0683	0,066	0,0023	0,0108
22,5	0,0885	0,0787	0,076	0,0027	0,0125
23,5	0,0943	0,0839	0,081	0,0029	0,0133
23,5	0,0955	0,0849	0,082	0,0029	0,0135
26,5	0,1164	0,1035	0,1	0,0035	0,0164
27	0,1327	0,1180	0,114	0,0040	0,0187
32,5	0,1677	0,1491	0,144	0,0051	0,0237

центра зондирующего пятна подсвета. В соответствии с расчетами, погрешность измерения для системы, состоящей из двух триангуляционных датчиков, составляет в среднем – 0,02...0,1 мм, что в незначительной степени повлияет на конечные результаты измерения.

**Заключение.** Анализ способов измерения координат поверхности показал, что наиболее эффективным для решения задачи точного измерения положения геометрической оси, диаметра и других геометрических параметров является метод непрерывного измерения координат точек поверхности, реализованный с помощью компактного сканирующего узла с двумя преобразователями. В качестве датчиков, целесообразно использовать специальные приборы для измерения расстояния (дальномеры), которые работают по принципу триангуляции. Такие устройства несмотря на возникающую небольшую погрешность позволяют измерить криволинейные поверхности при сравнительно высоких скоростях сканирования. В качестве примера можно рассматривать прецизионный отражательный тестер LT3 (Германия), с дальностью зоны измерений до 5 м и раз-

решением до 1 мм: диапазон дальностей лазерных датчиков LT3 составляет 0,3...3 м для серых объектов и 0,3...5 м для белых.

Комплекс оборудования, предназначенный для точного измерения и базирования сортиментов, спроектированный на основе узла сканирования, может использоваться для решения задач экономии сырья, а также для повышения эффективности работы деревообрабатывающего оборудования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Слепова, С.В. Основы теории точности измерительных приборов: учебное пособие / С.В. Слепова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 192 с.
2. Калугин, Ю.К. Комплексная система ресурсосбережения в производстве лущеного шпона [Текст]: монография / Ю.К. Калугин. – Барановичи: РИО БарГУ, 2011. – 223 с.
3. Барышников, Н.В. Экспериментальный анализ погрешности измерения триангуляционного метода в задачах технологического контроля профиля поверхности сложной формы // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 9.

Материал поступил в редакцию 26.01.15

#### KALUGIN Yu.K., LESHCHIK D.A., BAKULIN B.A. Influence of design special-scanning unit of measurement accuracy geometric parameters sortments

The results of studies of the effect of design features station received nodes, as well as new devices and methods of measurement of geometrical parameters of logs. The analysis of the strengths and weaknesses of converters and end-node scanning constructions. The methods for improving the accuracy of measurement and control distances characterizing the surface coordinate assortment and allow guides to create high precision scanning devices.

УДК 677.054.842

**Бакулин Б.А., Калугин Ю.К.**

### АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ БАТАННОГО МЕХАНИЗМА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

**Введение.** Одной из приоритетных задач современного текстильного производства является повышение долговечности деталей и узлов машин, так как их низкая долговечность приводит к значительным простоям и увеличению эксплуатационных расходов, в результате снижает производительность оборудования и качество продукции. Создание надежно работающих новых машин, и усовершенствование существующих, невозможно без решения вопросов о снижении динамических нагрузок в деталях машин. В машинах текстильной и легкой промышленности динамические колебания вызывают обычно отрицательные последствия: от повышенного износа звеньев механизмов, до нарушения технологического процесса и вредного влияния на обслуживающий персонал.

Важным этапом для модернизации и проектирования ткацких станков является изучение динамических процессов в основных механизмах и определение их динамических характеристик, а также выявление способов и средств, способствующих повышению износостойкости взаимодействующих поверхностей деталей.

Большое количество научных работ посвящены изучению динамических процессов в механизмах ткацкого станка, причинах возникновения динамических нагрузок и методах повышения устойчивости поверхностей деталей к изнашиванию.

Вопросы динамики получили свое отражение еще в работах Рэлея. Рассматривая вопросы общей динамики, следует отметить фундаментальные труды И.И. Артоболевского, который изучил и систематизировал виды различных механизмов, накопленные практическим машиностроением, разработал методы синтеза механизмов. Геометрические методы синтеза плоских механизмов систематически излагаются в монографиях Р.Бейера и В.Лихтенхельда, Н.И. Левитского. Значительный вклад в теорию динамики батанных механизмов внес А.П. Малышев. Большое внимание динамике батанного механизма всегда уделяется специалистами-технологами. Существенный вклад в теорию динамики батанного механизма внесли В.А. Гордеев, Я.И. Коритыцкий, В.А. Орнатская, С.Д. Николаев. Обширные исследования механики текстильных машин проводились в МТИ имени А.Н. Косыги-