

**ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА**

**ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК**

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК  
КАФЕДРЫ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ**

Научно-информационный журнал

2005 г. № 1(37)

Координационный совет журнала

Главный редактор  
Зам. главного редактора

А.Н. ОБЛИВИН  
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета

Н.И. КОЖУХОВ  
О.Н. НОВОСЕЛОВ  
А.К. РЕДЬКИН  
Е.И. МАЙОРОВА  
О.А. ХАРИН  
В.С. ШАЛАЕВ  
А.С. ЩЕРБАКОВ  
С.Н. РЫКУНИН

Ответственный секретарь

Е.А. РАСЕВА



Номер подготовили:

Ответственный секретарь  
Редакторы  
Набор и верстка

Е.А. РАСЕВА  
О.М. ШИТОВА  
Т.В. ГОРБУНЧИКОВА  
М.А. ЗВЕРЕВ

Оригинал-макет подготовлен в редакторе Microsoft Word 2000.

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» ПИ № 77-12923 от 17.06.2002.

Перепечатка и воспроизведение полностью или частично текстов и фотографий журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» – только с письменного разрешения издательства.

© Московский государственный университет леса, 2005

---

Подписано к печати .02.2005.  
Объем 20 п. л.

Тираж 500 экз.  
Заказ №

---

Издательство Московского государственного университета леса.  
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.  
Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15, факс (095) 588-51-09

## СОДЕРЖАНИЕ

Амалицкий В.В.	<i>Стратегический курс кафедры</i>	5
Любченко В.И.	<i>Отцы-основатели кафедры станков и инструментов</i>	13
Кузнецов В.М.	<i>Николай Васильевич Маковский – заведующий кафедрой в 60–70-е годы</i>	28
Амалицкий В.В.	<i>Подготовка специалистов на уровне последних достижений в технике и технологии деревообрабатывающих производств</i>	31
Кузнецов В.М.	<i>Электрогидравлические механизмы размерной настройки сдвоенных агрегатов гибких линий лесопильного производства</i>	36
Кузнецов В.М.	<i>Луцильный станок с программным управлением</i>	40
Бондарь В.Г., Корчатов А.В.	<i>Сертификация деревообрабатывающего оборудования и инструмента</i>	43
Бондарь В.Г., Корчатов А.В.	<i>Метод определения показателей безопасности и качества оборудования в сертификационных испытаниях</i>	49
Любченко В.И.	<i>Оценка качества обработки древесины и возможности прикладной квалиметрии</i>	55
Воякин А.С.	<i>Из истории группы надежности деревообрабатывающего оборудования</i>	59
Суханов В.Г.	<i>Из истории вибрационного резания древесины</i>	62
Зайцев В.В., Суханов В.Г.	<i>Рациональный подход к выбору и изготовлению круглых пил увеличенных диаметров</i>	69
Суханов В.Г. Зайцев В.В.,	<i>Некоторые рекомендации по выбору оборудования и инструмента для продольного пиления древесины</i>	88
Коротков В.И.	<i>Классификация формообразующих движений исполнительных органов дереворежущих станков</i>	94
Коротков В.И.	<i>Управление движениями исполнительных органов станка</i>	104
Зотов Г.А.	<i>Инструментальное хозяйство современного деревообрабатывающего предприятия</i>	118
Зотов Г.А.	<i>Кафедра моей молодости</i>	151
Любченко В.И.	<i>Станки и инструменты</i>	153

## Уважаемые читатели!

*Кафедра станков и инструментов сердечно благодарит ректорат и общественные организации Московского государственного университета леса; руководителей, заведующих специальными кафедрами и ученых родственных вузов; многочисленных выпускников и друзей кафедры, редакцию журнала «Вестник Московского государственного университета леса Лесной вестник» за теплые поздравления и добрые пожелания по случаю нашего 60-летия.*



На снимке (слева – направо): 1-й ряд – доцент Виктор Иванович Коротков, доцент Владилен Геннадьевич Суханов, заведующий лабораторией Василий Матвеевич Ширишиков, заведующий кафедрой профессор Виктор Васильевич Амалицкий, профессор Виталий Иванович Любченко, доцент Георгий Анатольевич Зотов; 2-й ряд – ассистент Максим Александрович Рябов, инженер-программист Алексей Геннадиевич Меркуленков, аспирант Алексей Васильевич Сажин, профессор Анатолий Степанович Воякин, инженер Эмма Васильевна Малышева, инженер-программист Сергей Николаевич Барков, профессор Владимир Георгиевич Бондарь, аспирант Павел Николаевич Ассонов, ведущий инженер Юлия Анатольевна Павлова, аспирант Андрей Владимирович Тищенко.

## СТРАТЕГИЧЕСКИЙ КУРС КАФЕДРЫ

В.В. АМАЛИЦКИЙ, *проф. зав. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, действительный член РАЕН, заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук*

### Немного истории

Повседневная деятельность и совершенствование высшего образования происходит в тесной связи с состоянием общества, его потребностями и тенденциями развития. Не является исключением и кафедра станков и инструментов, как составная часть Московского государственного университета леса – флагмана высшего лесотехнического образования в стране.

Индустриализация страны в предвоенные годы и восстановление народного хозяйства, разрушенного войной, привели к глубоким качественным изменениям в деревообработке: на смену кустарным промыслам пришли специализированные деревообрабатывающие предприятия и многоотраслевые комбинаты, широкое распространение получили универсальные и специализированные деревообрабатывающие станки, была создана материальная база отечественного станкостроения для деревообработки. Потребовались инженеры, багаж знаний которых позволял им руководить этими производствами. Таких специалистов с 1944 года начала выпускать кафедра станков и инструментов. Это соответствовало целям и задачам организации учебно-педагогического процесса в высшем лесотехническом образовании.

Плановая социалистическая экономика требовала необходимые сведения для расчета режимов обработки на станках, конструирования и эксплуатации деревообрабатывающих машин и инструментов. Кафедра разрабатывает теоретические основы технологии и техники механической обработки древесины, прежде всего, резанием, поскольку этот метод в то время был наиболее распространенным.

В 60-е годы прошлого столетия начинается комплексная механизация и автоматизация производственных процессов деревообработки. Это было генеральной линией развития экономики. Она коснулась всех отраслей деревообработки и даже названий факультетов и кафедр МЛТИ. Вместо привычного МТД (механическая технология древесины) факультет стал называться «Автоматизация и комплексная механизация процессов деревообработки». Правда, название кафедры ни тогда, ни позднее не изменилось.

В соответствии с запросами промышленности на кафедре открывается новая специальность подготовки инженеров-механиков – 0519 «Машины и механизмы деревообрабатывающей промышленности». Эта специальность относится уже к сфере машиностроения. На кафедре развиваются исследования проблем эффективности деревообрабатывающих машин, их автоматизации, стабильности обработки, технического уровня оборудования и методов его оценки. По существу разрабатывается теория деревообрабатывающих машин, наработки которой сразу же становятся достоянием учебного процесса по профилирующим дисциплинам кафедры, а с 1975 года – включаются в учебники.

Дальнейшее усложнение деревообрабатывающего оборудования потребовало специалистов, которые не только могут успешно его эксплуатировать, но и создавать новые образцы современной техники. На кафедре начинается подготовка инженеров-конструкторов с продленным до 5,5 лет сроком обучения.

Сложность деревообрабатывающего оборудования, широкое внедрение в отечественную деревообработку зарубежных ав-

томатических станков и инструментов, автоматизация многих операций заставило при оценке эффективности его работы прибегнуть к понятиям надежности.

На кафедре создается новое научное направление. В результате, опираясь на общие принципы теории надежности и разработки имеющихся на кафедре научных школ, были разработаны основы теории надежности деревообрабатывающего оборудования с учетом широкого спектра специфических условий работы машин различных деревообрабатывающих производств.

В начале 80-х годов на кафедре был проведен серьезный ремонт: благодаря хорошим контактам с промышленностью, несколько станков были заменены на более современные.

Усилиями доцента А.А. Соловьева создана уникальная лаборатория элементарного резания древесины. Она расширила возможности организации учебного процесса по изучению базовых закономерностей процесса резания древесины и древесных инструментов.

Следует отметить, что на этом этапе создается Учебно-методическое объединение по специальности 0519 (позднее 17.04), которое начинает активную работу по созданию новых учебных планов, координации методической работы однопрофильных кафедр всех лесотехнических вузов. Во главе УМО профессор Н.В. Маковский, ученый секретарь – доц. Н.А. Кряжев. Активное участие в работе объединения принимают многие доценты кафедры. Кафедра становится признанным центром и лидером в методических вопросах преподавания и организации учебного процесса в масштабах страны.

Все выше перечисленные этапы развития кафедры, подробно и талантливо описаны признанным летописцем кафедры профессором В.И. Любченко, статьи которого помещены в этом юбилейном сборнике. Поэтому здесь они только кратко перечислены и послужат преамбулой для описания сегодняшнего дня кафедры и перспектив ее дальнейшего развития.

Десять лет моей работы в должности заведующего кафедрой пришлось как раз на это время. Численность преподавателей кафедры составляла 16 человек, более двух десятков специалистов трудились в группе НИР, полтора десятка аспирантов и многие студенты старших курсов активно занимались научной работой. Лаборатории кафедры были оснащены измерительной аппаратурой, стендами для проведения испытаний, появились первые аналоговые вычислительные комплекты, в промышленности широко внедрялись научные разработки кафедры, особенно в области надежности. На нескольких станкостроительных заводах были созданы испытательные подразделения для контроля выпускаемой и экспериментальной проверки опытной продукции.

### **На этапе смены общественных формаций**

Экономические и социальные потрясения 90-х годов прошлого столетия не могли не отразиться на состоянии и деятельности кафедры. К тому же это случилось когда по возрасту и другим причинам из состава кафедры выбыли проф. Н.В. Маковский, доценты А.А. Соловьев, Н.А. Кряжев, Г.А. Зотов, Г.А. Комаров, О.А. Новиков. Все они возглавляли ключевые дисциплины и участки работы кафедры, и их уход не мог пройти бесследно. Резкое снижение оплаты труда преподавателей не позволило удержать на кафедре нескольких молодых перспективных работников.

Финансирование учебного процесса практически прекратилось. Это привело к тому, что устаревающие и приходящие в негодность приборы и оборудование не могли быть заменены на новые, что отрицательно сказалось на уровне лабораторных работ. В это время начинается внедрение в учебный процесс персональных компьютеров и информационных технологий, но из-за отсутствия средств кафедра была лишена возможности развиваться в данном направлении.

Недостаточная оплата труда заставляет преподавателей искать дополнительные источники финансирования, что требует

времени и сил. Дело дошло до того, что в учебных помещениях кафедры преподаватели организовали производство мебели. В то время машинный зал кафедры больше напоминал цех кустарного предприятия, чем учебную лабораторию. Деятельность преподавателей на кафедре все больше ограничивается рамками проведения обязательных аудиторных занятий, резко падает объем научно-исследовательской работы. Надо сказать, что изменилось и отношение студентов к учебе, к сожалению, в худшую сторону. Многие из них сочетают учебу с работой и на учебные занятия у них остается мало времени и сил. Оплатив свое обучение, так называемые «контрактники» не утруждают себя учебными занятиями.

Вышесказанное позволяет оценить то безрадостное состояние, в котором оказалась кафедра в первой половине 90-х годов. Нельзя не выразить слова благодарности в адрес тех сотрудников, которые в этот тяжелый период остались и работают на кафедре. Это профессора В.И. Любченко, В.М. Кузнецов, В.Г. Бондарь, доценты А.С. Воякин, В.Г. Суханов, Б.В. Зимин, В.В. Кишенков, В.И. Коротков, заведующие лабораториями В.И. Тимофеев, В.М. Ширшиков, лаборант Э.В. Малышева.

В описываемое время происходят кардинальные изменения в общественной жизни и экономике страны и, естественно, они затрагивают и лесной комплекс. Вместо крупных государственных комбинатов, лес-промхозов возникло огромное количество всевозможных частных предприятий. В результате количество предприятий возросло, а их размеры уменьшились. Это привело к тому, что на них работает много людей плохо обученных, слабых в профессиональном отношении, а зачастую людей из других областей деятельности.

В промышленности сложилась такая ситуация, что на многих предприятиях, особенно на недавно вновь организованных, иногда просто нет специалистов, способных передать свой опыт недавнему студенту, тогда как от поступающего в их распоряжение и только что окончившего вуз молодого ин-

женера требуется именно практическое знание современной техники и технологии, умение правильно эксплуатировать оборудование.

Станкостроительная промышленность России переживает глубокий кризис, поэтому деревообрабатывающие предприятия страны, стараясь идти в ногу со временем и выдерживать конкурентную борьбу, вынуждены приобретать зарубежное оборудование и инструмент, которые стали значительно сложнее. Никого уже не удивляет наличие систем автоматической настройки и самодиагностики на относительно простых станках общего назначения. Как должное воспринимается автоматизация целых участков производства: форматного раскроя плит, изготовления клееных брусковых заготовок, отделки изделий и т.п. Внедряются системы управления станками по Интернету.

Создается впечатление, что все технические достижения человечества нашли свое применение в станках и оборудовании различных деревообрабатывающих производств. Порой кажется, что, пользуясь достижениями автоматики, компьютерной техники, программирования и т. п., фирмы создают новые станки только для того, чтобы продемонстрировать свои возможности, поразить потребителя и насладиться производственным эффектом.

Ведущие мировые производители пришли на российский рынок и столкнулись с серьезной проблемой подготовки кадров для эксплуатации и обслуживания современных дорогостоящих станков и инструмента на предприятиях.

Плановое государственное высшее и среднее профессиональное образование находится в кризисе, и в то же время весьма остро стоит вопрос о подготовке квалифицированных кадров всех уровней: операторов, мастеров, инженеров. Старая система подготовки кадров существовавшая в Советском Союзе (ПТУ, техникум, ВУЗ), нарушена, а новой нет. Дело дошло до того, что операторов сложных компьютерных станков мы обучаем в Московском государственном университете леса. Да и сама высшая школа

оказалась не готова к такому росту сложности технического оборудования. Нищенская зарплата преподавателей вузов не позволяет закрепить на кафедрах талантливую молодежь, а старые заслуженные кадры с трудом адаптируются к современным системам управления сложными компьютерными системами.

### Начало возрождения

Для того, чтобы в сложившихся условиях не допустить снижения уровня подготовки специалистов, кафедра была вынуждена, не дожидаясь поддержки государства, изыскивать пути совершенствования учебного процесса и приближения его к запросам промышленности.

Стало ясно, что в рутинную жизнь кафедры нужно внести такой вид деятельности, которая дала бы заряд бодрости, приблизила к интересам промышленности, поддерживала уровень учебного процесса и, наконец, дала определенные материальные и финансовые поступления. Так возникла идея открытия на кафедре Центра по сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента. Идея возникла не на пустом месте. Вся предшествующая деятельность кафедры последних лет, связанная с исследованиями технического состояния оборудования и разработкой методов ускоренных испытаний на надежность, создала базу для проведения работ по сертификации.

В 1995 году Центр по сертификации был открыт, и это постепенно дало свои результаты. Была создана лаборатория для проведения сертификационных испытаний оборудования и инструмента, приобретена измерительная техника. Это создало базу для организации новых лабораторных работ для студентов-механиков. Сертификация продукции зарубежных фирм открыла поток информации о самых последних тенденциях в деревообрабатывающем станкостроении. Кафедра оснастилась персональными компьютерами и современной оргтехникой.

Высокий профессионализм и компетентность профессорско-преподавательского состава кафедры привлекли внимание веду-

щих производителей деревообрабатывающего оборудования и инструмента, сертифицировавших свою продукцию именно здесь. Годы плодотворного сотрудничества привели к рождению новой идеи, имевшей объективные предпосылки, – кардинального переоснащения кафедры современным деревообрабатывающим оборудованием. Дело в том, что имевшиеся на тот момент в лаборатории кафедры станки общего назначения были выпущены 30 и более лет назад. В лучшем случае можно было ознакомить студентов лишь с основными правилами эксплуатации на устаревших морально и физически фрезерных, фуговальных, рейсмусовых, круглопильных станках. По окончании же университета выпускник на практике встречался с новейшим компьютеризированным оборудованием.

Идея заключалась в следующем: на условиях выгодных обеим сторонам, организовать на кафедре учебный центр безвозмездно оснащенный самыми последними станками какой-либо зарубежной фирмы. Фирма преследует цели демонстрации своего оборудования, более качественного и разнообразного обслуживания российских потребителей продукции фирмы, возможности обучения операторов работе на сложных станках с компьютерным управлением в российских условиях. Кафедра получает возможность повысить уровень подготовки студентов и научно-исследовательских работ, проводить по договорам с промышленностью обучение операторов и повышение квалификации инженерно-технических работников. Последнее дает дополнительный заработок преподавателям и средства на развитие материальной базы кафедры.

Переговоры об организации центра практической подготовки специалистов при МГУЛ велись длительное время и со многими зарубежными фирмами. Наконец, договоренность была достигнута с итальянской группой «Biesse», оборудование которой хорошо известно российским предприятиям, длительное время эксплуатируется на многих из них и доказало свою высокую надежность. К ней присоединились ведущие фир-



мы Италии и Германии; в результате было поставлено оборудование, которое обеспечивает выполнение основных технологических операций. Так был сделан второй шаг на пути возрождения кафедры.

Весь этот комплекс станков по своему составу и техническому оснащению отражает основную потребность наибольшего числа отечественных мебельных предприятий. В него включено сложное оборудование, оснащенное программным управлением, станки-полуавтоматы, отражающие современный уровень техники и довольно простые универсальные деревообрабатывающие станки. С одной стороны, их обслуживание, настройка и наладка требуют инженерных знаний, а с другой, они настолько просты, что доступны и студентам, не имеющим достаточного практического опыта. Такое сочетание позволяет организовать постепенное и комплексное обучение будущих работников промышленности таким образом, чтобы продвигаясь от изучения конструкции простых узлов постепенно переходить к самым сложным, открывающим новые перспективы для отрасли.

Лаборатории кафедры станков и инструментов, в которой установлено все это оборудование, придан статус многофункционального учебного и научно-исследовательского подразделения Московского государственного университета леса. В ней осуществляются следующие виды деятельности:

– проводятся лабораторные и практические занятия со студентами-механиками специальности 170400 по дисциплинам: «Теория и конструкции деревообрабатывающего оборудования», «Резание и дереворежущий инструмент», «Проектирование деревообрабатывающего оборудования», «Надежность машин и оборудования», «Роботы и манипуляторы» и со студентами-технологами, специальности 260200 по дисциплине «Оборудование отрасли»;

– лаборатория действует как демонстрационный центр современного прогрессивного оборудования и инструмента различных деревообрабатывающих произ-

водств; цель демонстрации – показать, как автоматизированное оборудование в сочетании с возможностями компьютерной техники позволяет реализовать оптимальный производственный поток на предприятии; любой из установленных станков может быть продемонстрирован в работе;

– лаборатория является базой Центра обучения и профессиональной переподготовки операторов и инженерно-технических работников лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также лиц, занимающихся предпринимательской деятельностью в этой области.

Студентами и аспирантами университета в лаборатории проводятся научные исследования; тематика исследований охватывает процессы резания древесных материалов, надежность станков и инструментов, программное обеспечение станков с компьютерным управлением, динамику станков и др.

На кафедре проведен капитальный ремонт и расширены ее площади. К учебному процессу привлечены молодые силы из числа выпускников университета, о чем подробно будет сказано ниже. Таким образом, можно констатировать, что на кафедре создан плацдарм для дальнейшего развития. Каким же путем пойдет кафедра?

### Стратегия развития

Современный статус выпускающей кафедры технического университета предполагает углубление фундаментальной подготовки студентов, известную гуманитарную составляющую технического специального образования, а рыночные отношения в экономике требуют гибкости и мобильности, способности достаточно оперативно отслеживать спрос на специалистов в обществе и реагировать на него.

Фундаментальность образования определена Государственным образовательным стандартом, в котором львиная доля отводится дисциплинам общеобразовательных циклов при относительно небольшом объеме специальных дисциплин. Усложняющаяся технология и оборудование лесного ком-

плекса заставляют обратить внимание на компьютерную подготовку выпускников. А без инженеров-конструкторов, которые окончили профильные лесотехнические университеты, задачу создания отечественного деревообрабатывающего оборудования не решить. И при всем этом учебный процесс должен быть подкреплен надежным контактом с теми отечественными и зарубежными потребителями наших специалистов, от которых можно получить средства на существование и развитие кафедры. Ведь надо учитывать, что сотрудники кафедры, владеющие навыками работы на компьютеризированном оборудовании, должны получать зарплату сопоставимую с выдаваемой на производстве. В противном случае они просто перейдут туда, где больше платят. Работа ради достижения далеких идеалов ушла в прошлое.

Осуществление названных мер призвано обеспечить подготовку специалистов разного уровня по машинам и инструментам для деревообработки в полном соответствии с требованиями Государственных образовательных стандартов и запросами производственных предприятий.

Двухуровневое обучение позволяет в первые четыре года подготовить бакалавра, а на самом деле инженера-механика-эксплуатационника. Набор тех же дисциплин, что и в предшествующем учебном плане пятилетнего обучения, но предлагаемый в сжатый временной промежуток, позволяет дать выпускнику хорошую теоретическую подготовку, не загружая его чрезмерно специализацией. Такой инженер без сомнения будет широко востребован на предприятиях лесного комплекса. В то же время он имеет достаточную эрудицию, чтобы адаптироваться к условиям другой деятельности, т.е. является до определенной степени, инженером широкого профиля. Сразу после окончания учебы он закроет дефицитные ныне должности руководителей среднего звена на производстве: мастеров, начальников смен, инженеров различных служб предприятия. Особенно ко двору он придется на малых предприятиях, бюджет которых предусмат-

ривает только одну должность инженера, но такого, который разбирается и в технологии, и в оборудовании, и в инструменте, и до определенной степени в экономике. Термин «эксплуатационник» как раз и подчеркивает, что его знания и умения находятся на уровне рационального функционирования производства.

Весьма важной является подготовка бакалавра (инженера-механика-эксплуатационника) по двум специализациям: инженера-станочника и инженера-инструментальщика.

Такое разделение вводится в лесотехническом образовании впервые. Если специализация станочника не требует дополнительных разъяснений, поскольку в таком виде она существует давно, то второе направление, инструментальное, требует дополнительного обоснования. Оно вызвано тем, что проектирование, изготовление, подготовка к работе и оптимальная эксплуатация дереворезающего инструмента является едва ли не главным условием эффективной деятельности любого деревообрабатывающего предприятия, поскольку в технологии деревообработки до сих пор преобладающим рабочим процессом является резание. Современный дереворежущий инструмент, изготовленный с применением высоких технологий и оснащенный такими режущими материалами, как твердый сплав, сверхтвердые материалы и синтетический алмаз, требует для их эксплуатации и подготовки к работе специальных знаний, граничащих с искусством. Инженер-инструментальщик, даже с квалификацией бакалавра, будет востребован во всех отраслях деревообрабатывающей промышленности. В дополнение к сказанному следует добавить, что техническая база, которая будет создана для обучения студентов, может быть одновременно использована для подготовки операторов-заточников, в которых сейчас остро нуждается промышленность.

Дальнейшее обучение студентов, желающих продолжить свое образование, будет целенаправленно осуществляться в направлении получения квалификации ин-

женера-механика-конструктора в течение одного дополнительного года, а в течение двух лет – с получением квалификации магистра. Потребность в таких специалистах в настоящий момент несколько меньше, чем в инженерах-эксплуатационниках и вполне может быть удовлетворена тем количеством студентов, которые захотят продолжить учебу в университете. В дальнейшем, по мере становления отечественного машиностроения, пропорции выпускников могут быть изменены.

### Кафедра будущего

Что же нужно сделать для реализации намеченного стратегического курса кафедры? Прежде всего необходимы сбалансированные учебные планы по каждому из видов обучения и по всем специализациям.

Меньше всего доработки требует учебный план подготовки инженера-механика по эксплуатации оборудования. Он полностью соответствует Государственному образовательному стандарту и достаточно апробирован. Следует добавить только, что акцент при изучении оборудования будет сделан на станки с компьютерным управлением.

Учебный план бакалавра (инженера-инструментальщика) при неизменной, как у инженера по оборудованию, лицевой стороне, должен содержать ряд принципиально новых дисциплин, направленных на изучение специфических инструментальных вопросов. Это углубленное изучение процесса резания древесины и древесных материалов, изучение конструкции инструмента и применяемых в нем инструментальных материалов, организация инструментального хозяйства и эксплуатация оборудования для заточки и подготовке к работе инструмента, освоение методов компьютерного проектирования инструмента.

Учебный план инженера-конструктора, магистра будет наиболее наукоемким, ориентированным на подготовку специалиста, свободно владеющего методами компьютерного проектирования. В процессе обучения предусматривается выполнение не-

скольких научно-исследовательских работ, участие в реальном проектировании деревообрабатывающих станков и механизмов.

Намеченные стратегические направления развития кафедры должны быть подкреплены соответствующей материальной базой. И если направление по эксплуатации деревообрабатывающего оборудования имеет современную лабораторию, оснащенную разнообразными станками, в том числе и с компьютерным управлением, то остальные направления требуют развития их базы.

Для инструментального направления намечается создание Учебно-производственного центра, в состав которого войдут три лаборатории:

- учебная лаборатория дереворежущего инструмента;
- учебно-производственная лаборатория по заточке ленточных пил;
- учебно-производственная лаборатория по заточке дисковых твердосплавных и алмазных пил, фрезерного и другого инструмента.

Первая из этих лабораторий представляет собой чисто учебное подразделение, в котором будут проходить обучение студенты всех специальностей и специализаций. Она оснащена всеми видами дереворежущего инструмента и оборудованием для заточки и подготовки его к работе. Она создана на базе уже имеющейся лаборатории, дополнена последними образцами станков и приспособлением Кировского станкостроительного завода.

Создание двух других лабораторий возможно только с участием зарубежных фирм, как это было сделано при организации станочной лаборатории в содружестве с фирмой Биессе. Правда, подход к их созданию несколько иной. Если в станочной лаборатории изначально не была предусмотрена производственная деятельность, то вновь создаваемые лаборатории будут учебно-производственными. Для этого с фирмами заключается договор о создании Сервисных центров на площадях кафедры, производственная деятельность которых будет организовываться и проходить полностью под

контролем этих фирм. Одновременно кафедре будет предоставлена возможность проводить лабораторные занятия и стажировку на оборудовании этих сервисных центров. Здесь же можно проходить и производственную практику.

Для этих целей предусмотрена реконструкция имеющихся помещений кафедры с увеличением производственных площадей.

В новых помещениях разместится Сервисный центр фирмы Leuco (Германия) по заточке и подготовке дереворежущего инструмента и оборудование других фирм, с которыми сейчас ведутся переговоры. Сервисный центр будет оснащен современным оборудованием, приспособлениями, приборами. Для того чтобы преподаватели и сотрудники кафедры могли самостоятельно проводить занятия со студентами на имеющемся оборудовании, они пройдут обучение на фирме в Германии.

Учитывая перспективу обучения магистров и инженеров-конструкторов дальнейшее развитие получит компьютерный центр кафедры. Оснащение его дополнительными персональными компьютерами, печатающим и сканирующим устройствами, подключение к сети Интернет создадут все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов.

Одновременно с техническим перевооружением кафедры ведется подготовка молодых кадров преподавателей и учебных мастеров. Были приняты на работу и в аспирантуру перспективные выпускники МГУЛ и других ВУЗов. Созданы условия для улучшения их компьютерной подготовки и повышения квалификации. С этой целью развернуты научно-исследовательские работы по сертификации и исследованию компьютеризированных станков. По результатам этих работ уже защищены две кандидатские диссертации. Начаты исследования процессов подготовки к работе дереворежущего инструмента. Несколько молодых преподавателей и сотрудников кафедры прошли стажировку на фирмах Италии.

Немаловажным остается вопрос оплаты труда молодых преподавателей и со-

трудников кафедры. Чтобы удержать их на кафедре, необходимо обеспечить уровень зарплаты сопоставимой с той, которую получают их сверстники на производстве, поэтому приходится изыскивать дополнительные источники финансирования. Одним из таких источников будет работа в открывающихся сервисных центрах и Учебном центре кафедры.

Работа в направлении подготовки молодых кадров будет продолжена. В этом году к преподавательской работе привлекаются студенты 5 – го курса. Нужно сделать все возможное, чтобы вырастить новое поколение преподавателей, впитавших все традиционно сильные стороны научно-педагогических школ кафедры и одновременно прекрасно владеющих современными средствами управления и вычислительной техники и методами научных исследований.

Особое внимание уделяется написанию учебников и учебно-методической литературы. Изменившаяся материально-техническая база кафедры вынуждает к серьезной переделке методических указаний по лабораторным и практическим занятиям. Меняется структура курсовых и дипломных проектов. В учебниках приходится учитывать все те существенные изменения, которые произошли в оборудовании и инструменте для деревообработки. Это большой и очень важный труд на пути развития кафедры.

В последнее время переизданы учебники: В.В. Амалицкий, В.Г. Бондарь, А.М. Волобаев, А.С. Воякин – «Надежность машин и оборудования», В.И. Любченко «Резание древесины и древесных материалов». Подготовлены рукописи еще двух учебников: В.В. Амалицкий, Вит.В. Амалицкий – «Оборудование отрасли», В.В. Амалицкий, В.Г. Бондарь, В.М. Кузнецов «Теория и конструкция деревообрабатывающего оборудования».

Даже простое перечисление стоящих перед кафедрой задач показывает, что предстоит долгая и трудная работа, которая требует от каждого члена кафедры знаний, опыта, умения и желания работать.

В заключение хочу подчеркнуть: на всех этапах своей истории кафедра последовательно утверждала и развивала принципы, принятые в основу деятельности еще ее Основателями: безусловный профессионализм

в учебно-педагогической работе, эффективный научный поиск, формирование и поддержание высокого духовного облика. Кафедра не намерена отступать от своих принципов и впредь.

## ОТЦЫ-ОСНОВАТЕЛИ КАФЕДРЫ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ

В.И. ЛЮБЧЕНКО, проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, почетный работник высшего профессионального образования России

### Взгляд общего плана

Кафедре повезло при рождении в военном 1944-м году. В небольшом коллективе ее основателей счастливо сочетались широта взглядов на проблемы деревообработки Федора Матвеевича Манжоса, 40-летнего доцента, возглавившего кафедру; бескомпромиссная преданность науке Сергея Александровича Воскресенского; богатый профессиональный и жизненный опыт Петра Тимофеевича Иванкова.

Этим людям оказалось по плечу выработать и утвердить *принципы*, которые определили пути развития кафедры на десятилетия. Принципы просты до очевидности и вместе с тем вследствие их максимализма невероятно сложны для воплощения в жизнь: подлинный профессионализм в учебно-педагогической работе, эффективная научная деятельность по актуальным проблемам прикладной науки, формирование и поддержание в коллективе кафедры лучших стандартов интеллектуального, творческого и нравственного начал, шкалы ценностей, микроклимата – «духа кафедры». За 20 лет, к середине 60-х годов, кафедра преодолела крутой подъем к высотам, обозначенным провозглашенными принципами.

Основатели дали образец постановки учебного процесса по комплексной дисциплине «Станки и инструменты». Структура курса, исходящая из цели органического соединения знаний по рабочим процессам (резанию древесины), режущему инструменту, конструкциям и эксплуатации машин, стала

классической: ее черты без труда можно отыскать в двух десятках учебных дисциплин, освоенных кафедрой в последующие годы. Системно-целевой подход (*термин более позднего времени*) к отбору сведений, вовлекаемых в учебный процесс, стал нормой для многочисленных методических разработок, учебных пособий и учебников, подготовленных сотрудниками кафедры. Из последних нельзя не выделить учебники для вузов Ф.М. Манжоса: «Деревообрабатывающие станки» (М.: Гослесбумиздат, 1963. – 674 с.) и «Дереворежущие станки» (М.: Лесная промышленность, 1974. – 456 с.).

В научных исследованиях основатели ставили во главу угла наиболее полный учет особенностей древесины как обрабатываемого материала и закономерностей резания как рабочего процесса большинства деревообрабатывающих машин. На этом пути кафедра добилась успехов, которые нужно отнести к крупнейшим достижениям отраслевой науки. Теория элементарного резания С.А. Воскресенского стала основой для разработки теории станочных процессов. Труды Ф.М. Манжоса оформилась современная теория точности деревообрабатывающих машин, которая, в свою очередь, повлияла на развитие основ автоматизации технологий деревообработки (*Николай Васильевич Маковский*). Начались исследования, которыми закладывалась отраслевая теория надежности машин (*Виктор Васильевич Амалицкий*). Открылось широкое поле исканий для молодого поколения преподавателей кафедры, аспирантов МЛТИ и родственников

вузов, научных работников производственных лабораторий и НИИ...

Наконец, «дух кафедры» материализовался сплоченным коллективом единомышленников, в котором каждый член – личность с яркими чертами индивидуальности. Неписанные критерии, которых прежде всего придерживался заведующий кафедрой при «подборе и расстановке» кадров, – отличная профессиональная подготовка, склонности и способности к научно-педагогической работе, широкая общая эрудиция, порядочность и интеллигентность – дали свои плоды. Это не осталось незамеченным: кафедра снискала авторитет и уважение в институте и далеко за его пределами.

**Федор Матвеевич Манжос –  
крупным планом**



*Трудно поверить: 23 августа 2004 года нашему современнику Федору Матвеевичу Манжосу (1904 – 1987) исполнилось бы 100 лет. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой станков и инструментов Московского лесотехнического института (ныне МГУЛ), он реализовал себя как видный ученый-энциклопедист в отраслях прикладной науки, производства и высшего профессионального образования, связанных с деревообработкой. Приемствен-*

ность взглядов, принципов и методов, разработанных Ф.М. Манжосом, вылилась в формирование плодотворной научной (можно сказать и научно-педагогической) школы «Точность механической обработки древесины и качество станков».

Ф.М. Манжос из той плеяды талантливых инженеров и научных работников, которым выпало в начале 30-х годов прошлого века впервые решать масштабные производственные и научно-технические задачи. Следует напомнить, что задачи в то время формулировались государством и приобретали силу директив. *«План работы научно-исследовательских учреждений на второе пятилетие должен предусмотреть полное использование в наших условиях заграничного опыта и обеспечить активное содействие научно-технической мысли разрешению основных задач, стоящих перед лесной промышленностью в перспективе ее развития»* – требовал Народный комиссар лесной промышленности С.С. Лобов. И там же подчеркивал: *«Производственники должны во что бы то ни стало усвоить и осуществить взгляд на научно-исследовательские институты, как на научный штаб своей работы, должны вырабатывать научную работу, связывать эту работу с повседневными своими заданиями...»*.<sup>1</sup>

Этим обстоятельством объясняется тот факт, что научная разработка проблем точности механической обработки древесины началась по разным направлениям практически одновременно и многими исследователями. Все же принято считать началом работ 1932-й год, когда остро потребовалась механизация сборочных процессов в производстве изделий из древесины. Были исследованы производственные погрешности обработки деталей на основных дереворежущих станках: выявлены численные значения погрешностей и характер рассеяния разме-

<sup>1</sup> Цитируется по кн.: Инж. Д. Конюхов. Научно-исследовательская работа в деревообрабатывающей промышленности и ее перспективы. – М.: Гослестехиздат, 1934. – 64 с.

ров в партии деталей; обращено внимание на геометрическую точность станков и необходимость ее нормирования. В числе первых исследователей, наряду с С.А. Воскресенским, М.Н. Орловым, А.Я. Соскиным, В.И. Шибаловым и другими, был и молодой инженер Федор Матвеевич Манжос.

Несколько позже, с 1935 года, в научно-исследовательских институтах и вузах (Центральном научно-исследовательском институте механической обработки древесины – ЦНИИМОДе в Москве и УкрНИИМОДе в Киеве, Всесоюзном институте авиационных материалов – ВИАМе, Ленинградской лесотехнической академии) развернулись работы по обоснованию технологических требований к точности деревянных деталей (С.А. Ильинский, М.Е. Белоконь, В.Н. Михайлов). К середине 40-х годов были предложены первые системы допусков и посадок в деревообработке (В.Н. Михайлов, С.А. Ильинский, И.В. Куликов), в которых были учтены появившиеся к тому времени наработки по проблеме точности. Но теперь, как это обычно бывает в науке, осмысление и обобщение накопленных знаний по вопросам точности механической обработки древесины, устранение противоречий между различными системами допусков и посадок, обеспечение требуемой точности обработки в производственных условиях стало, в свою очередь, новой крупной научно-технической проблемой.

Ф.М. Манжос взялся за эту энциклопедически широкую, сложную и трудоемкую работу и довел ее до завершения. Материальным воплощением работы стали докторская диссертация «Основные вопросы точности механической обработки древесины» (МЛТИ, 1954 г.) и монографии «Точность механической обработки древесины» (М.: Гослесбумиздат, 1959. – 264 с.), «Испытания дереворежущих станков на точность» (М.: Гослесбумиздат, 1956. – 116 с.), «Настройка дереворежущих станков» (М.: Гослесбумиздат, 1955. – 104 с.). Этими трудами, в совокупности, было оформлено современное учение о точности механической обработки древесины, хотя сам Федор Матвеевич считал их

«первым шагом по пути разработки» этого учения.

Предметом исследований «Школы Манжоса» были определены: само содержание проблемы точности; закономерности размеро- и формообразования в процессе механической обработки (в первую очередь, резанием); показатели точности обработки и точности станков; характер и закономерности влияния на точность обработки геометрических погрешностей станков, режущего инструмента, производственных факторов; методы расчетов и нормативы геометрической точности и жесткости дереворежущих станков; вопросы размерной настройки станков; испытания станков на точность.

«Школа Манжоса» творчески восприняла богатый опыт машиностроения. В методологии она также отдала предпочтение комбинированному исследованию точности: статистическому – в части случайных явлений и расчетно-аналитическому – в отношении закономерных явлений. Но акценты делались на наиболее полный учет специфических свойств древесины, резко отличных от свойств металлов, обрабатываемых в машиностроении. Она (школа) принимала во внимание технологические особенности практической обработки древесины на станках: преимущественно проходное движение заготовок при подвижном базировании; нестабильность режимов обработки, например, при ручной подаче; неоптимальную геометрическую точность и статическую жесткость элементов станков; отсутствие в конструкциях станков специальных устройств для точной размерной настройки; несовершенную технику измерений и контроля точности...

Научная школа – это, прежде всего, люди и их творчество. Научные труды самого Федора Матвеевича насчитывают около 150 наименований с общим объемом свыше 500 авторских листов, десятки авторских свидетельств. Под его руководством выполнили научные исследования и получили докторские и кандидатские степени 52 соискателя. Достижения школы впечатляют перечнем выполненных исследований и име-

нами ее воспитанников и приверженцев<sup>2</sup>. Через учебный процесс идеи школы и практические знания о точности механической обработки древесины стали достоянием не менее 10 тысяч студентов – будущих инженеров-деревообрабочников.

Научные интересы Ф.М. Манжоса распространялись на многие проблемы деревообработки, но, пожалуй, более других – на теорию и практику резания древесины и древесных материалов. Им лично впервые обстоятельно было изучено фрезерование; под его руководством аспирантами комплексно исследована абразивная обработка (процессы шлифования в различных модификациях); его увлекали идеи малоотходной технологии древесины, в частности, бесстружечное деление заготовок, в том числе и вибрационным резанием...

Ф.М. Манжос возглавлял кафедру станков и инструментов МЛТИ в течение 22 лет, а в 1966 году, по личным обстоятельствам, переехал в Киев и вернулся к работе в УкрНИИМОД, где когда-то начинал свою творческую карьеру. Но «школа Манжоса» – «школа точности механической обработки древесины и качества станков» в МЛТИ продолжила свою творческую жизнь. По-прежнему уделяя главное внимание вопросам точности и шероховатости обработанных поверхностей деталей из древесины и древесных материалов, она распространила круг своих интересов на проблемы эффективности рабочих машин, включая их автоматизацию; стабильности обработки; технического уровня оборудования и методов его оценки. Принявший у Ф.М. Манжоса заведование кафедрой профессор Николай Васильевич Маковский и его ученики фактически впервые приступили к разработке *теории деревообрабатывающих машин*. Новые знания сразу же вводились в учебный процесс, а впоследствии заняли место в учебниках.

<sup>2</sup> См. подробнее в кн. «Научно-педагогические школы Московского государственного университета леса». – М.: МГУЛ, 1998. – 178 с. с илл. (Перепечатка статьи из названной книги приведена в конце настоящего журнала)

Технический прогресс с неизбежностью привел к расширению номенклатуры и повышению сложности функций, выполняемых деревообрабатывающими машинами. Соответственно усложнились и конструкции машин. Теперь значительная часть оборудования перешла в категорию «больших систем», эффективность которых определяется надежностью. «Школа Манжоса» естественно откликнулась на вызов времени. Опираясь на общие принципы теории надежности и свои наработки прошлых лет, она приступила к разработке *отраслевой ветви надежности*, учитывающей широкий спектр особенностей работы дереворежущего оборудования. Научное направление возглавил ученик Ф.М. Манжоса – профессор Виктор Васильевич Амалицкий. Ныне он руководит кафедрой станков и инструментов, а его научное направление «Надежность оборудования» стало естественным и полноправным преемником школы «Точность механической обработки древесины и качество станков»...

Как ученый и выдающийся заведующий кафедрой, Ф.М. Манжос превыше всего ставил «обеспечение прогрессивной преемственности созданной научной школы» (*его дословное выражение – В.Л.*). В «кадровой политике» скрупулезно выращивал коллектив сотрудников из личностей с яркими чертами индивидуальности... Федор Матвеевич, несомненно, обладал особым даром идеально (ну, почти идеально) подбирать для работы на кафедре людей, способных обеспечивать ту самую желанную «преемственность». Мало сказать «подбирать»: он делал все, чтобы дать этим людям возможность плодотворно трудиться: добивался выделения кафедре штатных единиц, настойчиво хлопотал о прописке и жилье, помогал публиковать результаты исследований...

Автору этого очерка довелось «при Манжосе» быть студентом факультета механической технологии МЛТИ, специализироваться и выполнять дипломный проект по кафедре станков и инструментов, учиться «на Манжоса» в очной аспирантуре МЛТИ,



защищать диссертацию и, наконец, стать доцентом его кафедры. Казалось бы, можно многое вспомнить о Федоре Матвеевиче, как человеку. Но это не совсем так. Разумеется, сказывалась разница в возрасте, но правда и то, что Ф.М. не был демократичен в общении; он всегда «держал дистанцию». Исключение делалось только для С.А. Воскресенского (к нему он нередко обращался по имени: «Сергей») да, видимо, заведующего кафедрой столярно-механических производств профессора Николая Николаевича Чулицкого, с которым Федора Матвеевича связывала давняя дружба...

Федор Матвеевич во все времена выделялся своей внешностью, манерами (мне почему-то казалось, что лицом и осанкой он был похож на тогдашнего руководителя Югославии маршала И.Б.Тито). Он безукоризненно одевался; был исключительно обаятельным в общении с людьми. Развитое чувство прекрасного, гармонии, проявлялось у Федора Матвеевича не только в увлечении живописью (в институте устраивались выставки его пейзажей), но и в техническом творчестве (об этом свидетельствуют, в частности, иллюстрации к учебникам), в повседневной жизни. Он уделял большое внимание языку, устной речи. Во время лекций или выступлений он стремился подбирать наиболее точные, емкие и, возможно, более *красивые* слова для выражения мысли, так что порой это даже проявлялось в едва заметной сбивчивости. Писал Федор Матвеевич исключительно четко, логично и понятно. Многие его оригинальные определения, классификации, новые термины стали общепринятыми в технической литературе...

Вспоминается, что руководя аспирантами, да и кафедрой в целом, Ф.М. Манжос никогда не прибегал к «голому администрированию». На заседаниях кафедры большую или малую проблему он доводил до всех таким образом, что становилась ясной не только ее суть, но и вырисовывался ее наиболее подходящий исполнитель. Последнему естественно было, не дожидаясь обсуждения или поручения, предложить свои услуги, а руководителю –

попросить секретаря сделать соответствующую запись в протоколе...

Ф.М. Манжос мог быть жестким, если дело касалось его личного достоинства или понимания профессионального долга. Бестактному порученцу, пришедшему на кафедру заявить, что заведующего срочно «требуют» в партком, он мог отрезать: «Меня могут только просить!» (Ф.М. не был членом партии); а по отношению к профессору, без причины отказывающемуся выступить в качестве официального оппонента на защите кандидатской диссертации по его научному профилю, открыто возмутиться: «Тогда зачем же мы (*коллеги, члены Совета – В.Л.*) его профессором сделали?!». Можно догадываться, что принципиальность не раз и не два осложняла ему работу и жизнь, но таков был, в моем видении, Федор Матвеевич.

Большой ученый и эрудит, Ф.М. Манжос был востребован и успешно трудился на общественном поприще. Многие годы он был членом Экспертного совета Высшей аттестационной комиссии (ВАК), работал в Госкомитете по присуждению Государственных премий по науке и технике Совета Министров УССР (*Украины*), в ведомственных советах, в советах вузов и НИИ, в профсоюзных организациях. Профессиональная и общественная деятельность Ф.М. Манжоса была отмечена правительственными наградами: двумя орденами и семью медалями...

**Сергей Александрович Воскресенский –  
крупным планом, с «лирическими  
наплывами»**

Имя Сергея Александровича Воскресенского (1904 – 1977) и его творчество широко известны людям, профессионально занимающимся деревообработкой в России и за ее пределами: специалистам научно-исследовательских учреждений, преподавателям, аспирантам и студентам высших учебных заведений лесотехнического профиля, инженерам и техникам производственных предприятий. Он – основоположник современной научной школы «Резание древесины и древесных материалов», сформирова-

ровавшейся и получившей развитие в Московском лесотехническом институте...

Здесь уместно оговориться. Большая заслуга в формировании школы резания принадлежит Федору Матвеевичу Манжосу, чьи научные интересы распространялись и на теорию резания древесины, но все же, в основном, были сосредоточены на проблемах точности механической обработки древесины и качества станков.



Труды же С.А. Воскресенского (общим числом более 80) практически все без исключения посвящены разработке теории резания. Многочисленные работы учеников и последователей С.А. Воскресенского, составившие достояние научной школы, основаны на положениях его трудов. Вот почему мы полагаем исторически справедливым и научно оправданным именовать школу резания МЛТИ «школой С.А. Воскресенского».

Научной школой принято считать направление в науке, связанное единством основных взглядов, общностью и преемственностью принципов и методов. Для «школы С.А. Воскресенского» эти взгляды, принципы и методы сводятся к следующим положениям:

1. Признается сложность технологического процесса резания, обусловленная слоисто-волокнутой или слоистой структурой, различием и изменчивостью показателей свойств обрабатываемых материалов по структурным направлениям, а также сочетанием в самом процессе разнородных механических, электрических, тепловых и химических явлений. При этом, однако, подчеркивается его (процесса) познаваемость.

2. Целью теории в конечном счете является рационализация технологического процесса резания. Отсюда выстраиваются решаемые теорией задачи: установление переноса и характеристик факторов резания, вскрытие физической сущности процесса, формулирование закономерностей процесса и их математическое описание, разработка инженерных методик расчета оценочных показателей резания (силовых, энергетических, качественных, экономических). Кроме того, теория должна обосновывать методы и средства необходимых экспериментальных исследований технологических разновидностей процесса, указывать пути улучшения конструкции, повышения стойкости, рациональной эксплуатации дереворежущего инструмента, давать информацию для экономического сопоставления вариантов организации резания в станках.

3. Приоритет в разработке теории отдается теоретическому анализу.

4. Методом аналитической теории резания является моделирование. Современные знания позволяют вполне обоснованно физику резания древесины представлять совокупностью механических явлений, вынося, таким образом, прочие явления «за скобки», с указанием и оценкой принимаемых допущений и оговорок. Но это открывает возможность для замещения реального процесса резания механической моделью. Анализ механической модели и математическое описание связей между факторами процесса и составляют сущность механико-математического метода аналитической теории резания древесины.

5. Выводы аналитической теории неизбежно (по методологии) являются при-

ближенными. Противоречие с практикой, требующей все более точных и совершенных расчетных методик, разрешается, прежде всего, совершенствованием теории. Но важная роль при этом отводится эксперименту: как для уточнения практических рекомендаций производству, так и для нужд развития самой теории...

С.А. Воскресенский родился 9 апреля 1904 года в г. Жиздре Калужской губернии. Отец Сергея Александровича, потомственный почетный гражданин, служил податным инспектором; мать, по социальному происхождению, из дворян. В 1910 г. семья переехала в Москву, где с 1914 года Сергей учится в гимназии, в 1920 году оканчивает среднюю школу и поступает в Московский лесотехнический институт. В 1925 году, окончив курс института по механическому отделению лесоинженерного факультета и защитив диплом на тему «Завод в г. Мозыре для выработки клееной фанеры», получает диплом инженера-лесотехнолога (механика)...

Оглядываясь на прошлое из нашего времени, нетрудно видеть, что Воскресенский был незаурядным студентом МЛТИ «первого созыва»: возглавлял механическую секцию студенческого научного общества, а время учебы на 3–5 курсах совмещал с преподавательской работой в своем же институте – был ассистентом кафедры гидравлики. Во время производственных практик стремился как можно шире и глубже изучить производство: в опытном лесном массиве института освоил таксацию и технологию лесоразработки, на заводе деревянных щитов в Москве работал плотником, а на фанерном заводе в Мозыре, лесопильном заводе в Архангельске и на Мантуровском фанерно-лесопильном предприятии – бракером на бирже сырья.

Молодой инженер С.А. Воскресенский много работает в сфере технического нормирования производства: сначала инженером фанерного треста, затем заведующим технико-нормировочным бюро и помощником технического руководителя Парфинского фанерно-лесопильного завода и, наконец,

снова в тресте, но уже старшим инженером по техническому нормированию. Возьму на себя смелость предположить, что именно эта работа во многом сформировала Сергея Александровича как ученого, хорошо представляющего запросы производства, адресованные науке; определяющим образом повлияла на «практичность» его будущих работ по теории резания, о которой мы намерены поговорить далее. Ибо техническое нормирование – это уникальный вид инженерной деятельности, требующий тонкого и точного учета новейших данных о технологиях, оборудовании, экономике производства, физиологии и психологии человека. Такой вид деятельности не может не оказать влияния на субъекта деятельности. Не случайно именно в это время С.А. Воскресенский выполняет свои первые научно-исследовательские работы по процессам лущения шпона и склеивания фанеры...

В 1929 году коллективом инженерно-технических работников «Фанеродвинлеса» и Ленинградским областным отделом профсоюза деревообделочников Воскресенский рекомендуется в аспирантуру Всесоюзного научно-исследовательского института древесины (ВНИИД). Там сначала он был зачислен научным сотрудником, а с 1931 года стал старшим научным сотрудником. В 1932 году ВНИИД преобразуется во Всесоюзный научно-исследовательский институт механической обработки древесины (ЦНИИ-МОД), и Сергей Александрович Воскресенский почти на 12 лет становится сотрудником этого замечательного учреждения.

Первые шесть лет научной работы он углубляется в проблемы отрасли: занимается испытаниями станков и режущего инструмента. К 1939 г. под его руководством создается уникальная экспериментальная установка для исследования процесса резания, оснащенная электронной аппаратурой (подобных установок в то время не было ни в СССР, ни за границей). В 1940–1941 годах на этой установке проводятся опыты, давшие новые интересные результаты и позволившие Воскресенскому приступить к главному своему предназначению – разработке

новых положений теории резания древесины...

Корнями «школа Воскресенского» уходит к профессору Ивану Августовичу Тиме, русскому ученому и горному инженеру, положившему начало научному анализу процесса резания древесины. В труде «Сопротивление металлов и дерева резанию» (1870 г.) он изложил результаты и аналитические обобщения своих опытов. Выдвинутые им гипотезы, предложенные схемы образования стружек при резании, расчетные формулы и числовые величины к ним предлагали рассматривать процесс резания на основании законов механики материалов, то есть, по существу утверждали механико-математический подход к анализу резания. Такой подход убедительно обосновывали наблюдения процесса. Чтобы разрушить связи между частицами древесины по заданной поверхности (а именно такова технологическая цель резания), лезвие (активный элемент рабочего орудия – режущего инструмента) должно преодолеть сопротивление древесины разрушению в том или ином направлении (относительно структуры). Если это сопротивление охарактеризовать соответствующим «коэффициентом крепости» материала, то открывается возможность рассчитать процесс разрушения в древесине при образовании стружки, пользуясь, в простейшем случае, элементарной теорией сопротивления материалов...

Не имея возможности здесь углубляться в историю науки о резании, тем не менее нельзя не остановиться на работе предшественника С.А. Воскресенского, профессора Ленинградской лесотехнической академии Михаила Александровича Дешевого. В 1934 году в капитальном труде «Механическая технология дерева. Часть 1» он опубликовал оригинальную, глубоко разработанную и методично построенную теорию резания древесины. Вслед за И.А. Тиме, М.А. Дешевой применял законы механики материалов к процессу стружкообразования при резании. Прикладная цель теории сводилась к получению более совершенных методов расчета мощности и производительности

деревообрабатывающих станков. Если прежде расчеты базировались исключительно на результатах опытных данных по резанию в аналогичных условиях, то теперь новая теория открывала возможность аналитически рассчитывать силовые характеристики резания для любых условий, исходя из показателей факторов режима резания и механических свойств древесины. Теория М.А. Дешевого имела и большую познавательную ценность. На основании накопленных фактов она объясняла, как происходит резание, давала представление о том, какими путями этот процесс может быть усовершенствован в соответствии с требованиями технологии...

Итак, к началу 40-х годов (теперь уже прошлого века!), кажется, все в нашей истории сложилось наилучшим образом. Индустриализации страны привела к глубоким количественным и качественным изменениям в деревообработке; создавалась материальная база отечественного деревообрабатывающего машиностроения, и от науки требовались сведения для расчета режимов резания на станках, конструирования деревообрабатывающих машин и инструмента. Был научный институт, заинтересованный в разработке новых положений теории резания и имеющий необходимую лабораторную базу.

Молодой ученый С.А. Воскресенский (в 1937 году Совет Ленинградской лесотехнической академии имени С.М. Кирова присвоил ему ученую степень кандидата технических наук без защиты диссертации) по всем параметрам был готов взять на себя миссию продолжателя научных идей И.А. Тиме и М.А. Дешевого. Последующие 6 лет работы в ЦНИИМОДе и еще 10 лет – в Московском лесотехническом институте позволили С.А. Воскресенскому выстроить практически новую теорию резания древесины. Концентрированным ее изложением стали книга «Резание древесины», изданная Гослесбумиздатом в 1955 году с грифом учебного пособия для лесотехнических вузов, и докторская диссертация «Теория и расчеты процессов резания древесины» (в двух томах), защищенная в 1959 году в МЛТИ...

Вернемся, однако, к послужному списку профессора. Война 1941–1945 годов внесла свои коррективы в планы работ ЦННИИМОД и его сотрудников. Наркомлес СССР назначает С.А. Воскресенского начальником технического отдела на Московскую мебельную фабрику № 6, а сама фабрика передается Народному Комиссариату авиационной промышленности и получает наименование «Завод № 457». На заводе, затем во Всесоюзном институте авиационных материалов (с конца 1942 года) и в Научном институте авиационной технологии (в 1945-м году) С.А. занимается вопросами обрабатываемости резанием неметаллических авиационных материалов. Предлагает теорию абразивного износа лезвий при резании пластмасс, проводит исследования по точности обработки деревянных деталей на станках и обеспечению требуемого качества обработанных поверхностей. Но все это время продолжает разрабатывать новые положения теории резания древесины.

С 1-го октября 1944 года С.А. Воскресенский становится доцентом кафедры станков и инструментов Московского лесотехнического института: сначала по совместительству, а с 1-го сентября 1946 года – по основной должности. Здесь в 1946 году его утверждают в ученом звании доцента, в 1960 году получает ученую степень доктора технических наук, а в 1961-м – ученое звание профессора.

К сожалению, мы не обнаружили собственных формулировок С.А. Воскресенского относительно «практичности» его теории. Этим словом мы обозначили востребованность теории отраслевой наукой, инженерно-технической практикой, профессиональным обучением. Попробуем рассудить сами, естественно, субъективно, но, с другой стороны, и взвешенно, так как можем опереться на факты.

Структурно теория резания С.А. Воскресенского выстроена по принципу «от простого к сложному». Технологические разновидности резания, реализуемые в станках, разнообразны и сложны для анализа, поэтому базовым объектом теории избира-

ется *элементарное резание*. Элементарное резание – наиболее простой вид резания; ограничения, накладываемые на процесс, диктуются, прежде всего, условиями корректного применения механических моделей.

Станочный процесс резания – сложное резание – отличается от элементарного резания наличием одной или нескольких особенностей. Теория синтезирует сложный процесс из закономерностей элементарного резания и вскрытых закономерностей влияния осложняющих особенностей.

Таковыми особенностями могут быть: одновременное участие в резании нескольких лезвий (например, зуба пилы), переменная толщина срезаемого лезвием слоя древесины (как при фрезеровании), кривизна траектории резания (выпуклая или вогнутая кривая), наличие дополнительного к лезвию рабочего инструмента (например, обжимной линейки при лущении шпона) и другие. Отсюда следующим после элементарного резания, разделом теории С.А. Воскресенского становятся *особенности процессов сложного резания*. Наконец, заключительный раздел составляют собственно *теории процессов сложного (станочного) резания*.

С.А. Воскресенский придал завершенность своей теории, лично выполнив синтез основных процессов сложного резания древесины: фрезерования, пиления, лущения и строгания шпона. Эта часть работы изложена в докторской диссертации и опубликована в Трудах МЛТИ, научных и производственно-технических журналах. Главную ее ценность, как показало время, составила методология теоретического анализа...

*Читатель ошибется, если ему покажется, что ничто человеческое не касалось С.А. Воскресенского: это не так. С.А. родился 100 лет назад, но это, оказывается, не бог весть какая давность. Он наш современник, мой институтский педагог, я его первый аспирант очного обучения, а потом многолетний коллега по кафедре станков и инструментов МЛТИ.*

Мне представляется, что Сергей Александрович всегда и на всех производил впечатление уравновешенного, рассудитель-

ного и рационального человека. Должно быть, это соответствовало сущности его рано проявившегося характера. Рассказывали, как был случай из детства С.А. Родители решили согласовать с сыном вопрос о подарке ко дню его рождения. Вообще-то Сереже очень хотелось получить два подарка: – «волшебный фонарь» и книгу А. Брема «Жизнь животных», – но родители проявили твердость: только что-то одно. Можно вообразить, каким нелегким для мальчика был выбор! Сережа выбрал книгу.

Мечта о «волшебном фонаре», похоже, обернулась интересом С.А. к фотографии. Сделанные им технические снимки процесса резания древесины, с большим увеличением объекта съемки помогли в разработке механических моделей резания, вошли в научные отчеты и учебные пособия. ...Как-то, к разговору, С.А. с восхищением отозвался о снимке, увиденном в журнале. Описывать снимок не стал, но уже в следующее появление на кафедре извлек из портфеля «Советское фото». На обложке журнала был помещен «парадный» фото-портрет члена Президиума ЦК КПСС, министра культуры СССР Екатерины Алексеевны Фурцевой. Ей только что исполнилось 50 лет (в 1960 году); на портрете она выглядела гораздо более молодой и очень красивой женщиной. По всему было видно, что последнее С.А. поставил выше безупречной техники фотомастера...

Справедливости ради надо признать, что в жизни Сергею Александровичу был присущ известный консерватизм, впрочем, вполне здоровый. Можно привести пример, связанный с той же фотографией: несмотря на широкое распространение хороших узкоплечных фотокамер, он сохранял приверженность старым громоздким аппаратам, снимавшим на стеклянную негативную пластину размером 9 × 12 см. По его убеждению, это гарантировало от появления нежелательной «зернистости» при печати со значительным увеличением снимков на бумагу.

Весной и осенью, в слякотную погоду, он продолжал надевать калоши с латун-

ными инициалами «С» и «В» внутри, в то время когда о калошах давно позабыли те, кто носил их прежде, а молодые люди, возможно, уже и не подозревали об их существовании. В ответ на недоуменные вопросы или подшучивания коллег С.А. обычно ограничивался улыбкой, но иногда «снисходил» до разъяснений, как всегда, резонных: носить калоши естественно для человека, они позволяют держать ноги в тепле и сухости, а уличную грязь оставлять за порогом жилища.

Мягкий доброжелательный интеллигент, С.А. Воскресенский становился жестким бойцом, отстаивая аналитическую теорию резания в бескомпромиссных дискуссиях с оппонентами. А таких дискуссий на его время выпало немало. Начиная с 1935 года, когда он выступил в защиту теории резания проф. М.А. Дешевого и за признание его труда полезным в качестве учебного пособия для студентов высших технических учебных заведений, и кончая, условно говоря, 1955 годом, когда завершились научные дискуссии по теории резания в Ленинграде и в Москве и вышла из печати книга С.А. Воскресенского «Резание древесины». Главным и непримиримым оппонентом С.А. Воскресенского в этих дискуссиях оставался профессор Александр Львович Бершадский.

Сейчас нет нужды возвращаться к мотивам и частностям разногласий между учеными. Мне представляется, что в них нашло отражение «время и место» событий, разные подходы к решению одной задачи, которые упрощенно выглядят так.

Бурное развитие лесной отрасли в 30-е годы требует от науки скорых решений. Скорые решения обещает обобщение результатов экспериментальных исследований (выполненных ранее и новых). Такой путь предлагают А.Л. Бершадский и его последователи, сторонники «физико-технологического метода» в создании учения о резании древесины. Понятно, что этот метод не предполагает создания развитой аналитической теории резания. Сторонники разработки аналитической теории резания «методом

механико-математического анализа» отчетливо осознают свои преимущества, но сталкиваются с трудностями моделирования и математического описания процесса и не гарантируют быстрое «внедрение» своих разработок. Трудно ли в этой ситуации найти повод для дискуссий, если добавить к ней неуступчивую амбициозность уверенных в себе ученых?!..

Наконец, надо помнить, что, централизованное управление отраслевой наукой не всегда поощряло теоретические исследования. Планы разных уровней нацеливали на разработки, дающие быстрый результат. Руководители предпочитали экспериментальные исследования, по которым легко было подсчитать расчетную (ожидаемую), а еще лучше реальную экономическую эффективность. Не удивительно, что С.А. Воскресенскому на своем творческом научном пути не раз приходилось отстаивать взгляд на теорию резания как основу для оптимизации рабочих процессов резания в машинах, имеющую преимущества перед проведением и обобщением непрерывно нарастающего объема экспериментов; в том числе и преимущество экономическое. *...Когда прямые аргументы в пользу теории не срабатывали, С.А., в узком кругу, прибегал и к риторической фигуре, именуемой иронией: «Наука, – говорил он, улыбаясь и характерно кривя губы, – потому и называется наукой, что ничего общего с практикой не имеет». При этом он ясно давал понять, что говорит противоположное тому, что думает. В практичности хорошей теории он был убежден до конца.*

Дискуссии, продолжавшиеся более двух десятилетий, прошли не без пользы. В 1974 году, выступая на Ученом Совете, чествовавшем его по случаю 70-летия, Сергей Александрович так прокомментировал былое: «В моей научной работе Александр Львович Бершадский играл ту же роль, что катализатор в химической реакции: сам в ней не участвуя, он во много раз ускоряет ее протекание...».

Время многое расставило по местам. Александр Львович Бершадский с неизбеж-

ностью пришел к проблеме научных обобщений громадного эмпирического материала. Отталкиваясь от физики процесса резания, но не прибегая к механико-математическому анализу моделей, он обобщил результаты многочисленных экспериментальных исследований в систему эмпирических формул, которая вместе с толкованием этих формул составляет, по его мнению, «общий закон резания». «Общий закон», будучи пригодным для инженерных расчетов в определенных пределах, не преодолел недостатков метода: он не может считаться универсальным, пригодным «на все случаи жизни» и имеет ограниченную познавательную ценность, прежде всего, для профессионального обучения.

«Школа Воскресенского» трудами ее основателя и многочисленных последователей добила больших успехов в аналитическом описании связей исходных условий резания с оценочными показателями: ею рассмотрены практически все процессы станочного резания.

Вместе с тем выявилось, что применение аналитических зависимостей для точных инженерных расчетов во многих случаях затруднено отсутствием надежных данных о механических свойствах обрабатываемых материалов (констант для формул) в условиях нагружения, близких к тем, которые имеют место при резании. Это обстоятельство, однако, не умаляет достижений теории. Оно лишь повышает роль эксперимента для нужд самой теории (с целью установления необходимых констант) и, разумеется, для уточнения выводов аналитической теории – практических рекомендаций – до той поры, пока таковые константы не установлены.

В подтверждение тезиса о практичности теории резания С.А. Воскресенского назовем наиболее значительные исследования, выполненные школой, и их авторов. Авторы совсем не обязательно были аспирантами или преподавателями МЛТИ–МГУЛ, но все они прошли школу С.А. Воскресенского, восприняли его идеи, как свои, и сделали в науке о резании свой шаг вперед.

В теории *элементарного резания* С.А. Воскресенским лично к началу 50-х годов были получены формулы, связывающие силы резания с показателями до 10 факторов процесса, для всех видов резания относительно волокон древесины. Позднее существенный вклад в нее внесли С.И. Кузьмин (1951), Г.В. Кудрявин (1969), А.А. Соловьев (1971), Г.А. Зотов (1972), Р.Ш. Бакиев (1972), Е.Н. Волков (1980).

Влияние *особенностей сложного резания*, учет которых открывает возможность синтезировать любой станочный процесс, также теоретически проанализировано либо самим С.А. Воскресенским, либо совместно с аспирантами. Это особенности пиления как закрытого многолезвийного резания; фрезерования как резания с криволинейной траекторией точки лезвия и переменной толщиной срезаемого слоя; лущения и строгания шпона как резания, осложненного воздействием дополнительного к лезвию рабочего инструмента на зону стружкообразования. Естественно, что в разработку *теорий конкретных технологических процессов* резания и практических рекомендаций, по сути своей являющихся выводами из теории, основной вклад внесли ученики и последователи профессора.

Процессы *пиления* получили глубокую проработку в работах Ю.А. Цуканова (1963), Хоанг-Зыу-Нгуена (1968), Б.Б. Миндели (1969), В.Ф. Фонкина (1970), А.И. Агапова (1973), А.С. Коргушова (1983), В.Г. Суханова (1984), О.Г. Адеишвили (1988).

Многочисленные разновидности *фрезерования* изучены Ф.М. Манжосом (1949), В.Ф. Фонкиным (1951), Н.А. Кряжевным (1954), Ю.А. Цукановым (1963), Г.А. Комаровым (1964), З.О. Онезашвили (1966), В.Г. Морозовым (1968), В.А. Тихоновым (1967), А.М. Векшиным (1970), Г.Ф. Дружковым (1971), С.В. Ивановым (1979), Г.А. Тихомировой (1984), Т.Д. Квачадзе (1988).

Теории процессов *резания древесины на стружку-полуфабрикат* (лущеный и строганный шпон, технологическую стружку и щепу) разработали Н.П. Рушнов (1964),

В.И. Любченко (1965), В.И. Силаев (1969), Б.М. Орлов (1971), Д.Ф. Бачурин (1974), Ю.А. Бова (1974), А.Ф. Абельсон (1978), П.С. Самородский (1981) А.А. Хатилович (1982). *Точение* исследовали А.А. Пижурин (1963) Н.Н. Колотушкин (1986). *Сверление* – В.В. Амалицкий (1964), О.С. Шустыкевич (1987). *Шлифование* – Ф.М. Манжос (1963), Ю.П. Попов (1965), М.Н. Гиндин (1966), Л.Г. Кутуков (1970), В.А. Косарев (1971). Перспективным видам *бесстружечного лезвийного резания* посвящены работы Ф.М. Манжоса, С.А. Воскресенского и В.Г. Суханова 50-х – 60-х годов, Ю.А. Цуканова и Н.И. Крюкова (1976), Б.А. Брусина (1977); *лазерному резанию* – А.А. Рослякова (1991)...

Остается отметить еще одно важное обстоятельство. Работы «Школы Воскресенского» выполнены преимущественно в высшем учебном заведении – Московском лесотехническом институте. Их актуальность, внутренняя логика и методические достоинства обеспечивали им прямое включение в учебно-педагогический процесс. Курс лекций Сергея Александровича по резанию древесины долго передавался от одного поколения студентов и аспирантов к другому. Учебное пособие для вузов «Резание древесины» С.А. Воскресенского (1955 год) дало первый образец изложения дисциплины для целей преподавания. Учебник для вузов «Резание древесины и древесных материалов» В.И. Любченко (1986 и 2002 годы), посвященный памяти профессора С.А. Воскресенского, обобщает наработки его Школы по состоянию на конец 20-го столетия.

### **Петр Тимофеевич Иванков – штрихи биографии и воспоминаний**

Петр Тимофеевич Иванков родился 8 сентября 1899 года в городе Новочеркасске. В детстве часто бывал в степях, при стадах овец и при табунах. В отрочестве ездил к кунакам на Терек, в Алазанскую долину и на Маныч. Впоследствии много рассказывал о разнообразных охотах и рыбалках, скифских курганах и находках древних предметов. Знал порядочно казачьих военных песен...





Учился в Новочеркасской гимназии<sup>3</sup>, хорошо оснащенной для физического развития учащихся и занятий военными видами спорта. С удовольствием занимался латынью и греческим языком. Прилично знал древнюю историю. В 1913 году вместе с представителями своей гимназии участвовал в торжествах по случаю 300-летия дома Романовых в Москве и на Бородинском поле под Можайском...

По окончании гимназии Петр Тимофеевич воевал на фронтах 1-й мировой войны. Был ранен и контужен. Частично потерял слух. Демобилизовавшись, пробовал продолжить образование в медицинском училище, но так и не смог преодолеть испытание анатомическим театром. В 1919 году был принят в Донской политехнический институт. Однако доучиться в нем не удалось: стихия гражданской войны забросила Петра Тимофеевича в пограничные с Польшей Волыньские земли, заросшие обширными глухими лесами. Там он работал лесником в окрестностях города Шепетовки, впоследствии

<sup>3</sup> Сведения из биографии П.Т. Иванкова любезно предоставлены автору статьи его сыном, доцентом Рольфом Петровичем Иванковым

ставшего знаменитым по роману Н. Островского «Как закалялась сталь». Там же он познакомился со своей будущей женой и в 1924 году женился, тайно обвенчавшись в одной из окрестных церквей (так делали в то время все, включая начальство, состоящее из большевиков; это была не столько тайна, сколько событие, не признаваемое официально)...

В 1925 году Петр Тимофеевич поступил на лесоинженерный факультет Киевского сельскохозяйственного института и в 1929 году окончил его, получив квалификацию *лесного инженера*. В том же году Петр Тимофеевич назначается на должность заведующего внешним строительным цехом Деревообделочного завода № 1 государственного Московского треста деревообрабатывающей промышленности «Мосдрев» и вместе с семьей переезжает в Москву...

Начались «золотые годы» в жизни Петра Тимофеевича. Он быстро завоевывает профессиональный авторитет. Участвует в общегородских собраниях инженерно-технических и научных работников, на которых с докладами выступали члены правительства. Строит первую очередь московского метро. В 1930 году начинает работать со студентами Московского лесотехнического института (во «второй период» его существования) на факультете механической обработки древесины. Включается в исследовательскую и методическую деятельность по созданию теоретических и инженерно-технических основ современной деревообработки. Предложенные П.Т. Иванковым и В.Г. Осадчиевым четкие классификации деревообрабатывающих производств и деревообрабатывающих станков сыграли важную роль в организации новых исследований и планировании отраслевого производства. Решением Квалификационной комиссии Народного комиссариата леса СССР от 3 июня 1935 года Петр Тимофеевич был утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Механическая обработка древесины».

Жизнь между тем подготовила Петру Тимофеевичу крутой поворот. Лестех в Москве закрывается. Дом на Садовом кольце

(Кудринская площадь), где семья П.Т. занимала скромную квартиру на чердачном этаже, идет на слом, а для индивидуального строительства на выделенном земельном участке в Подмоскowie нужны деньги... В начале 1936 года Петр Тимофеевич отправляется в Заполярье работать главным инженером лесокомбината в Игарке.

Тогдашняя Игарка только-только начала обстраиваться деревянными домишками. Но она уже была населена энергичными оптимистами и энтузиастами, которые в светлый период арктической зимы позволяли себе роскошь ездить по городу... на велосипедах. Лесокомбинат, которым руководил П.Т., был совершенно новым предприятием, оснащавшимся невиданной прежде техникой. Например, там впервые в СССР в январе 1937 года началось внедрение автолесовозов, способных работать зимой в Арктике при температурах, близких к минус 50°...

Контракт с Лесокомбинатом в Игарке закончился летом 1937 года, и Петр Тимофеевич (заработав деньги на строительство дома в Раменском!) возвращается в Москву к службе в Народном комиссариате лесной промышленности СССР. В сентябре 1938 года его назначают на должность инженера-диспетчера производственно-распорядительного сектора Главного управления лесопиления и деревообработки «Главлесдрев».

В начале Великой Отечественной войны (с 1 октября 1941 года) он становится начальником производственно-технического отдела Главлесдрева и остается в этой должности до перевода на преподавательскую работу в Московский лесотехнический институт в 1948 году. В войну работали много, часто ночами... В апреле 1943 года Петр Тимофеевич был награжден Знаком отличника социалистического соревнования Наркомлеса СССР, а в 1944 году – орденами «Знак почета» и «Красная Звезда»...

В МЛТИ Петр Тимофеевич некоторое время возглавлял учебный отдел и вел интенсивную научную работу по теме: «Разработка и испытание в производственных условиях новых опытных марок сталей для де-

реворезущего инструмента повышенной стойкости». Руководил темой заведующий кафедрой технологии металлов профессор Сергей Александрович Кожин. В 1953 году работа была представлена к Сталинской премии, но награждение группы исполнителей не состоялось в связи со смертью И.В. Сталина. На кафедре станков и инструментов наиболее значимой работой Петра Тимофеевича была постановка новой учебной дисциплины «Технические измерения с основами метрологии» и издание по ней учебного пособия в 1960-е годы...

*Замечательный знаток производства, повседневной жизни, быта и психологии людей, Петр Тимофеевич был прекрасным педагогом. Берусь утверждать это по собственным впечатлениям студенческих и аспирантских лет. На третьем курсе (в 1954 году), проводя с нами лабораторные работы по дереворезущему инструменту, он, к примеру, не сообщал бесстрастно о том, что правильно подготовленные режущие кромки должны быть очень острыми, нет. Он давал возможность почти физически почувствовать эту необходимую остроту. Голосом неповторимой окраски (кажется, в нем было все: пафос, снисходительность, ирония – не знаю, как описать) П.Т. доверительно говорил, что «волос, упавший с головы белокурой девушки на кромку заточенного ножа, должен перерезаться уже под действием собственной тяжести». Тирада запоминалась, потому что содержала зацепку, рождала вопрос – почему «белокурой»? Зацепка на какой-то извилине в мозгу оставалась навсегда: раз перерезается самый тонкий и легкий волосок с головы блондинки (о брюнетке и говорить нечего!), значит действительно инструмент очень острый! ...*

*В 1956 году кафедра назначила Петра Тимофеевича руководителем моего дипломного проекта. П.Т. выдал задание: «Проект станка для выработки рамных шипов с округленными ребрами», назначил консультации по четвергам в аудитории дипломного проектирования и обратил мое особое внимание на график выполнения про-*

екта, расписанный по неделям на последней странице задания. Этому «особому вниманию» я не придавал должного значения и, как скоро выяснилось, напрасно.

В первый же четверг П.Т. потребовал предъявить материалы по первому пункту графика: «Общая часть. Обоснование проекта». Конечно, никаких материалов я предъявить не мог. За всю неделю я успел только выяснить, что аналогичных станков не существует ни в металле, ни в чертежах, и толком не осознал, что же от меня требуется. Мои объяснения не удовлетворили руководителя. Сухо, серьезно (будь я не столь озабочен, мог бы заметить в голосе некую театральность) П.Т. объявил: «Студент, Вы – в безнадежном положении! Вы отстаёте от графика на целый этап!» Ну, в безнадежном – не безнадежном (еще никто не приступал к диплому), а подскажите, где искать материалы, чтобы позаимствовать. П.Т. дал щедрый совет: «Используйте в проекте всё, включая знания об атомной энергии!» – и отправился на электричку...

Что оставалось делать бедному дипломнику? Искать, творить... С помощью аспиранта кафедры удалось найти статью в английском журнале «Wood», где, кроме текста, было 3–4 рисунка, поясняющих принцип формирования округленного шипа на торце детали, и малоинформативная фотография общего вида станка. Статью пришлось перевести на русский язык, разобраться, сочинить возможные схемы нового станка и, с миру – по нитке, нарисовать что-то приемлемое...

Напутствуя на защиту проекта, П.Т. внушал: ни при каких обстоятельствах не теряться, не спотыкаться и не молчать. «Понадобится – прямо подходите к столу ГЭК (Государственной экзаменационной комиссии), берите свой диплом и читайте! Может, у Вас голова разболелась?!»

Школа Петра Тимофеевича работала хорошо. Еще тогда, в 1956 году, я с удивлением обнаружил, что за 4 месяца дипломного проектирования научился профессии не меньше, чем за годы обучения. А дипломный проект помог и потом: на его основе я написал реферат к поступлению в аспирантуру, материалы реферата поместил, пусть мелким шрифтом, Ф.М.Манжос в первый учебник по станкам (1963 года издания).

В аспирантуре (конца 50-х – начала 60-х годов) нехватка времени ощущалась постоянно и «давила на психику». Как-то после окончания вечерних занятий к моей установке в лаборатории подошел П.Т., стал спрашивать о работе, о быте, о жизни. Расчувствовавшись, я поведал о делах и стал сетовать, что много времени приходится тратить на второстепенное: поиски, ожидания, сон, еду, стирку... П.Т. совсем по-отечески обнял меня, снисходительно улыбнулся и сказал: «Милый мой, так это и есть жизнь!»

#### Возвращаясь к взгляду общего плана

60-летний юбилей кафедры станков и инструментов совпал со столетиями года рождения Федора Матвеевича Манжоса и Сергея Александровича Воскресенского. Заложённые ими научные школы кафедры плодотворно работали на протяжении более полувека. Достижения школ хорошо известны и признаны. К сожалению, в наше время совсем мало известно о людях, их создававших. Это несправедливо: достижения Школ – впечатляющие свидетельства личных, творческих и жизненных успехов Федора Матвеевича, Сергея Александровича и Петра Тимофеевича. И мне бы хотелось, чтобы читатель статьи увидел главные составляющие этих успехов: Основатели кафедры были богато одаренными личностями и первостепенными профессионалами.

## НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ МАКОВСКИЙ – ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ в 60–70-е годы

В.М. КУЗНЕЦОВ, *проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, д-р техн. наук*

Доктор технических наук, профессор Николай Васильевич Маковский возглавлял кафедру станков и инструментов МЛТИ с 1966 по 1980 год и внес заметный вклад в развитие учебно-методической и научно-исследовательской работы, подготовку молодых научных кадров, укрепление связей кафедры с промышленностью.

Н.В. Маковский прожил большую и интересную, насыщенную событиями жизнь, неразрывно связанную с судьбой нашей страны. Н.В. Маковский родился 31 октября 1903 года в городе Лодзи Западной области (современная Польша) в семье служащих: отец работал на почте, мать – учительницей в гимназии. До 1914 года семья проживала в Лодзи и Ченстохове, откуда в связи с первой мировой войной эвакуировалась на Украину, в г. Полтаву.

В 1915 году отец Маковского погиб на фронте.

В Полтаве Николай Васильевич получил общее среднее образование. В 1922 году он переехал в Москву и поступил в Московский лесной институт, который затем был перебазирован в Ленинград.

Николай Васильевич закончил механическое отделение лесотехнологического факультета Ленинградского Лесного института в июле 1926 года и успешно защитил квалификационную работу на тему: «Проект фабрики для производства рамочных ульев в районе Уфимского кантона». Ему была присуждена квалификация инженера лесотехнолога-механика. С этого периода началась его инженерная производственная деятельность на различных предприятиях деревообрабатывающей промышленности Москвы и ближайшего Подмосковья.

Первая официальная должность по записи в трудовой книжке – мастер, а затем

заведующий производством Люберецких мастерских Московско-Казанской железной дороги. Это было в 1926–28 годах.

Затем были должности заведующего производством и технического руководителя деревообрабатывающей фабрики треста точной механики (г. Москва) и др.

1931 год является важной вехой в инженерной и производственной деятельности Н.В. Маковского: завершается производственный этап его биографии и начинается 25-летний период проектно-конструкторской работы в «Станкодревпроекте» (г. Москва). В этой проектной организации были собраны лучшие специалисты по деревообрабатывающему оборудованию и разрабатывались первые отечественные деревообрабатывающие станки, в которых остро нуждалось народное хозяйство в период первых пятилеток.

Николай Васильевич работает в Станкодревпроекте в течение десяти лет (1931–1941 гг.) сначала старшим инженером, а затем помощником главного инженера.

В годы Великой Отечественной войны Н.В. Маковский – старший инженер-конструктор Специального конструкторского бюро 8 ГПИ Наркомтанкопрома, эвакуированного на Алтай.

С 1943 по 1951 год Маковский – начальник отдела, затем главный инженер Московского филиала НКТП.

Находясь на конструкторской работе, Н.В. Маковский внес заметный вклад в усовершенствование существующих и создание новых видов современного деревообрабатывающего оборудования.

Ему принадлежат оригинальные работы по созданию отечественных моделей шипорезных, строгальных, фрезерных и сверлильных станков, а также первых отече-

ственных автоматических линий в деревообработке. Плодотворная проектно-конструкторская работа Н.В. Маковского в годы Великой Отечественной войны была отмечена правительственными наградами: орденом «Красной звезды» и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне», а также почетным знаком «Передовой конструктор советского машиностроения».

С мая 1951 года по август 1956 Н.В. Маковский работал начальником отдела деревообрабатывающих станков, а затем отдела автоматических линий и агрегатных станков отраслевого научно-исследовательского института деревообрабатывающего машиностроения НИИДРЕВМАШ Минстанкопрома СССР. На этом посту он проявил себя высококвалифицированным специалистом, умелым организатором научных исследований и внес заметный вклад в создание нового автоматизированного деревообрабатывающего оборудования.

В этот период Николай Васильевич обобщает опыт автоматизации деревообрабатывающих производств и в 1953 году успешно защищает кандидатскую диссертацию на тему: «Автоматизация деревообрабатывающего производства (основные вопросы и пути внедрения)».

В Московском лесотехническом институте Николай Васильевич работает с 1948 года, сначала по совместительству.

С сентября 1956 года он избранный по конкурсу доцент кафедры станков и инструментов. С этого времени начинается весьма плодотворный вузовский период его научно-педагогической деятельности. Он готовит и проводит занятия по новым дисциплинам: «Основы автоматизации», «Автоматизация производственных процессов», «Проектирование станков-автоматов» для студентов факультетов МХТД и заочного. Для этих дисциплин он разрабатывает необходимые программы, лабораторную базу, методические материалы и учебные пособия.

Наряду с педагогической работой Н.В. Маковский выполняет большую научно-методическую работу. Научная работа Николая Васильевича в этот период связана с ис-

следованиями рациональных технологических схем многооперационных агрегатных станков и автоматических линий в деревообработке, с внедрением систем преселективного и программного управления, позволяющих существенно повысить мобильность переналаживаемого оборудования. Итогом научных исследований стала докторская диссертация. В мае 1963 года Николай Васильевич успешно защищает докторскую диссертацию на Ученом Совете Ленинградской лесотехнической академии. Решением ВАК ему присуждается ученая степень доктора технических наук, а в 1965 году он утвержден в ученом звании профессора по кафедре автоматизации производственных процессов. В это время он руководит семью аспирантами. Его учениками являются доценты МГУЛ Л.Г. Молчанов (кафедра АПП), В.И. Коротков, В.В. Кищенко, Б.В. Зимин, В.М. Кузнецов и др.

После отъезда в 1966 году заведующего кафедрой Ф.М. Манжоса в Киев Н.В. Маковский по предложению ректора возглавил кафедру станков и инструментов и проработал в этой должности до 1980 года.

На посту заведующего кафедрой в полной мере раскрылись лучшие личные качества Николая Васильевича: высокая научная эрудиция, хорошие организаторские способности, демократизм, умение работать с людьми, высокая работоспособность, большой опыт проектно-конструкторской и производственной работы.

Этот период жизни нашей кафедры был отмечен заметным омоложением ее кадрового состава, расширением и укреплением научных связей с промышленностью и производством, увеличением объема научных исследований, выполняемых по договорам со станкозаводами и организациями Главдревстанкопрома.

Наряду с профессорами Н.В. Маковским, С.А. Воскресенским, В.Ф. Фонкиным ведущими преподавателями становятся доценты Н.А. Кряжев, Ю.А. Цуканов, В.В. Амалицкий, В.И. Любченко, В.М. Кузнецов, а позднее преподаватели новой волны – Л.Г. Кутуков, Г.А. Зотов, В.И. Коротков,

Б.В. Зимин, В.В. Кишенков, В.Г. Бондарь, А.С. Воякин и др.

Являясь ведущим специалистом в области автоматизации деревообрабатывающих машин, Н.В. Маковский всегда уделял большое внимание литературной работе и написанию учебно-методических пособий, отражающих достижения научно-технического прогресса в деревообрабатывающем машиностроении. Он являлся автором более 80 печатных работ, в том числе двух учебников для вузов и учебника для техникумов по курсу автоматизации процессов деревообработки.

Первые научные статьи Н.В. Маковского были опубликованы в журнале «Механическая обработка древесины» за 1935 год ( №№ 4, 6, 7, 10, 12). В 1961 году в Гослесбумиздате вышло учебное пособие для лесотехнических вузов «Автоматизация технологических процессов в деревообработке». По существу это первая систематизированная работа этого профиля.

В 1966 году вышел подготовленный Н.В. Маковским учебник для техникумов «Основы автоматизации деревообрабатывающих производств».

В 1970 году в издательстве «Лесная промышленность» вышло учебное пособие для лесотехнических вузов «Основы автоматизации и автоматизация производственных процессов».

В 1975 году в издательстве «Лесная промышленность» вышло первое издание учебника для лесотехнических вузов «Теория и конструкция деревообрабатывающих машин», написанного коллективом авторов под редакцией Н.В. Маковского (В.В. Амалицкий, Г.А. Комаров, В.М. Кузнецов). Николай Васильевич с большой тщательностью отбирал и редактировал материал для этого учебника, являющегося основным для подготовки студентов специальности 1704.

В 1984 и в 1989 годах под редакцией Н.В. Маковского вышли второе и третье издания этого учебника, переработанные и дополненные новыми материалами.

Кроме перечисленных выше, следует назвать еще написанный Маковским учеб-

ник «Проектирование деревообрабатывающего оборудования», изданный в 1980 году.

Н.В. Маковский успешно сочетал научно-педагогическую работу в МЛТИ с активной общественной работой в НТО Машпром, НТО лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, в секциях деревообрабатывающего оборудования НТС Минстанкопрома и Минлеспрома СССР, а также возглавляя отделение деревообработки Народного университета научных знаний при МЛТИ. К этой работе он постоянно привлекал и более молодых преподавателей кафедры.

В жизни Николай Васильевич оставался примером русского интеллигента, человека разносторонних знаний и высокой духовной культуры, интересным собеседником, внимательно следившим за успехами молодежи.

По установившейся на кафедре традиции раз в году, обычно в июле все преподаватели собирались на даче у Николая Васильевича и Татьяны Ивановны Маковских в дачном поселке Большого театра на станции Дачная. После многочасовых прогулок по окрестностям, бесед и хлебосольного застолья гостям предлагалось осмотреть звездное небо с помощью небольшого телескопа, установленного в дачной обсерватории Маковских.

Еще одним увлечением Николая Васильевича в последние годы стала акварельная живопись. Он много часов проводил за мольбертом и достиг заметных успехов в этом виде творчества. Любимой темой его работ были пейзажи Подмосковья. Свои живописные работы он охотно дарил друзьям и знакомым.

После избрания в 1980 году ведущим кафедрой станков и инструментов В.В. Амалицкого, Николай Васильевич работал профессором-консультантом кафедры. Он скончался в апреле 1989 года на 86 году жизни. Похоронен на Ваганьковском кладбище в Москве.

Николай Васильевич Маковский своей деятельностью и научными трудами оставил заметный след в истории кафедры станков и инструментов МЛТИ.

## ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ НА УРОВНЕ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Вит.В. АМАЛИЦКИЙ, *проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, д-р техн. наук*

### Положение дел в деревообработке

Люди рождаются, растут, учатся, работают, дают жизнь новому поколению, раньше или позже уходят. Хитросплетение этих процессов составляет основное содержание того, что мы понимаем под словом «жизнь». Взаимодействие и протекание процессов жизнедеятельности почти всегда сложно, неоднозначно, зависит от исторического этапа, экономической обстановки и многих других важных факторов. Сложные системы, такие как отрасли промышленности, наука, образование, также не просто и неоднозначно проходят периоды подъема или спада.

Современный этап развития отечественной промышленности в целом вряд ли можно характеризовать как период заметного подъема. В этом смысле одним из немногих счастливых исключений является деревообработка. Несмотря на кризисы и дефолты, эта отрасль не просто осталась жива. В новых условиях формы взаимодействия и взаимовлияния ее элементов со структурами других областей жизнедеятельности не только сохранились, но и получили развитие, обрели новую специфику.

Трудно судить, в чем заключаются секреты устойчивости деревообработки, но некоторые вопросы могут действительно привести к мысли о существовании настоящей загадки: почему, например, когда в стране столько банков, когда в каждом вузе готовят специалистов в области экономики, она не торопится развиваться, а люди хранят сбережения совсем в других банках, почему, например, когда на каждом углу обнаруживаем юридические фирмы, нотари-

альные и адвокатские конторы, а каждый вуз готовит специалистов в области юриспруденции, юридические услуги не становятся более качественными и доступными, почему, например, столь глубокий кризис переживает машиностроение и станкоинструментальная промышленность, если любое государство прежде всего заинтересовано в их высоком уровне и многие известнейшие вузы страны работали и работают на эту отрасль? Таких вопросов можно задавать много, трудно на них ответить.

Загадки же деревообработки, скорее всего, не существует. Существуют очень старые и добрые традиции страны с богатейшими лесными ресурсами. Земля и лес по существу были основой жизни России. Земля кормила, лес кормил, грел и давал самый замечательный материал для строительства, производства мебели и прочих необходимых изделий быта и труда. Поэтому, даже когда в силу разных причин государство уделяло деревообработке мало внимания, оставалось старое: традиции, знания и, что особенно важно, желание людей заниматься любимым делом – обработкой древесины.

Большую роль в сохранении традиций и накоплении новых знаний сыграло взаимодействие ведущих деревообрабатывающих предприятий и лесотехнических вузов, питающих кадрами отрасль. К их числу относятся Санкт-Петербургская лесотехническая академия, Воронежская лесотехническая академия, Архангельская лесотехническая академия и ряд других.

Особое место в этом ряду занимает Московский государственный университет леса. МГУЛ дал отрасли и государству це-

лую армию прекрасных специалистов, воспитал известнейших ученых и оказался, по большому счету, единственным вузом, готовящим деревообработчиков в огромном Московском регионе. Именно здесь деревообработка в последние годы переживает бурный подъем, в результате конкуренции повышается качество продукции, используется современное оборудование и инструмент ведущих мировых производителей, возникла сеть торговых и консалтинговых фирм, поставляющих станки и инструменты, резко возросла потребность в квалифицированных кадрах. Именно здесь наиболее ярко проявилось противоречие между возможностями вузов с устаревшей материально-технической базой, переживающих спад научных исследований, и потребностями предприятий в инженерных работниках, владеющих новым зарубежным оборудованием.

### **Оборудование становится сложнее**

За последние годы произошло серьезное усложнение станков и оборудования всех без исключения деревообрабатывающих производств. Центральным моментом этого усложнения стала компьютеризация. Даже самые простые станки общего назначения, такие как круглопильные с ручной подачей, рейсмусовые, фрезерные и другие, имеют автоматические настройки, системы диагностирования, меню выбора режимов обработки на мониторе станка. Наряду с привычными станками общего назначения предприятия оснащаются специализированными станками, обрабатывающими центрами и линиями с компьютерным управлением.

Чтобы выпускать и эксплуатировать такое оборудование, необходимо обеспечить формирование адекватного кадрового потенциала от рабочего до научного сотрудника с использованием комплексной системы непрерывного общего и специального образования и повышение квалификации специалистов всех уровней, соответствующей последним достижениям мировой науки и техники.

Ни одно предприятие не сможет решить свои проблемы, если оно не имеет высококвалифицированных специалистов с высшим образованием. Подготовка специалистов такого уровня и является задачей вузов лесотехнического профиля, в том числе Московского государственного университета леса. Однако, при решении этой задачи вузы сталкиваются с проблемой, суть которой сводится к тому, что в учебных лабораториях отсутствуют станки последних поколений.

Новое импортное оборудование в условиях кризиса отечественного станкостроения стало одновременно и спасением, и новой проблемой для отрасли и вузов. Важнейшей частью проблемы является освоение станков, оснащенных компьютерным управлением, особенно обрабатывающих центров. Появившись сравнительно недавно, это оборудование твердо заняло место на многих деревообрабатывающих предприятиях. Обладая рядом преимуществ по сравнению с прежними видами станков, оно позволяет более эффективно и рационально организовывать и перестраивать технологический процесс.

К сожалению, подготовка операторов за рубежом на фирмах-изготовителях оборудования обходится очень дорого, а уровень компьютерной грамотности рабочих и владение ими иностранными языками оставляют желать лучшего. Профессионально-технические училища не могут решить проблему из-за отсутствия нового дорогостоящего оборудования и неуккомплектованности педагогическими кадрами соответствующей квалификации.

### **Учить надо по-новому**

Еще лет двадцать–двадцать пять назад, в доперестроечные времена, состояние подготовки студентов лесотехнических специальностей у нас можно было считать вполне удовлетворительным. Учебные планы всегда включали специальные дисциплины, предметом изучения в которых являлись материаловедение, технология деревообработки, деревообрабатывающее оборудо-



дование, инструмент, подготовка их к работе и эксплуатация. Сложившаяся методика преподавания и сейчас сочетает лекционные, лабораторные, практические занятия, расчетно-графические курсовые работы и проекты. Все необходимые вопросы были системно изложены в признанных учебниках, пособиях и книгах многих известных авторов.

Но опыта, накопленного при организации теоретического обучения и лабораторных занятий на оборудовании и установках лабораторий кафедры станков и инструментов МГУЛ, в последнее десятилетие оказалось явно недостаточно. Дело в том, что объемы преподавания, содержание учебной литературы и оснащение лабораторной базы университета всегда соответствовали номенклатуре и техническому уровню оборудования и инструмента, использовавшихся на подавляющем большинстве отечественных деревообрабатывающих и мебельных предприятий.

Понятно, что университет не мог быть оснащен всеми видами применявшегося в отрасли оборудования и что окончившие вуз молодые специалисты, получившие серьезную и разностороннюю теоретическую подготовку, еще в течение трех лет доучивались на предприятиях, конкретно знакомясь с ними и получая практический опыт под наблюдением производственников.

В начале 90-х годов, после приватизации промышленности и организации множества новых деревообрабатывающих предприятий, потребовалось значительно большее количество работников, имеющих практический опыт, а доучивать окончивших вуз молодых специалистов на предприятиях оказалось некогда, а часто и некому. Вместе с тем, после отмены монополии государства на внешнюю торговлю в отрасль хлынул поток самого разнообразного деревообрабатывающего оборудования и инструмента, эксплуатации которого до этого у нас никто не учил. В особенности это относится к обрабатывающим центрам, автоматическим станкам для раскря,

сверлильно-присадочным и кромкооблицовочным станкам.

Ситуация с подготовкой инженерных кадров и операторов новых видов оборудования сегодня осложнена развалом системы образования в профессионально-технических училищах, где из-за отсутствия оборудования и квалифицированных педагогов в лучшем случае можно ознакомить студентов лишь с основными правилами работы на простейших и устаревших морально и физически фрезерных, фуговальных, рейсмусовых, круглопильных, токарных и сверлильных станках. При этом ни в одном из училищ нет даже и половины перечисленных станков, не говоря уже о современном оборудовании, оснащенном компьютерными системами управления, которого в училищах нет вообще.

В развитых западных странах проблема подготовки рабочих, операторов и «доводки» инженерно-технических работников решается не только в институтах, которые как правило, уделяют значительную долю учебного времени именно практическому обучению, но во многом и за счет наличия учебных центров при крупных станкостроительных фирмах, напрямую заинтересованных в высокой квалификации кадров, эксплуатирующих их продукцию. Большинство крупных зарубежных деревообрабатывающих и мебельных предприятий организуют подготовку кадров для своего производства самостоятельно.

В сложившейся ситуации, когда отечественные заводы так и не смогли освоить выпуск современного деревообрабатывающего оборудования и им нечему учить наших специалистов, подчас уже эксплуатирующих самую современную иностранную технику, российские деревообрабатывающие и мебельные предприятия не могут позволить себе отправить сотрудников на учебу за рубеж или, тем более, организовать собственный учебный центр.

Московский государственный университет леса предпринял практическую попытку заполнить эту нишу в системе образования специалистов для отрасли. На

кафедре станков и инструментов МГУЛ был открыт государственный Орган по сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента – ОС ДО МГУЛ. Фирмы-производители деревообрабатывающего оборудования и инструмента по достоинству оценили квалификацию, профессионализм сотрудников и качество работы ОСДО МГУЛ. К числу таких фирм относятся «Weinig», «IMA», «Homag», «Leitz», «Leuco», «SCM», «Biesse», «Griggio» и другие.

### **Учебный центр современного деревообрабатывающего оборудования**

Годы сотрудничества укрепили взаимное доверие и уважение. Поэтому предложение руководства ОСДО МГУЛ о создании в университете леса Учебного центра, оснащенного новейшим деревообрабатывающим оборудованием и инструментом, нашло понимание у зарубежных коллег.

Решение этой проблемы в современных условиях зависело от наличия двух составляющих: кадровой (преподаватели, учебные мастера) и материально-технической (лабораторная база). И если уровень подготовки профессорско-преподавательского состава университета не вызывал никаких сомнений, то надежд на выделение бюджетных средств на оснащение Центра не было никаких.

Решающую помощь оказали две хорошо известные европейские группы изготовителей деревообрабатывающего оборудования – итальянская Biesse и немецкая Weinig, которые бесплатно установили на кафедре станков и инструментов МГУЛ гаммы современного оборудования: обрабатывающий центр, форматный, присадочный и кромкооблицовочный станки фирмы «Biesse s.p.a.», четырехсторонний станок с заточным комплексом и системой оптического контроля фирмы «Weinig» и пр. Это оборудование обеспечивает выполнение законченных технологических циклов производства мебели на основе облицо-

ванных плит и окон или дверей и аналогичных изделий из массивной древесины и, по сути, представляет собой две отдельные мини-фабрики. Фирмами предоставлено университету абсолютно новое оборудование самого высокого технического уровня.

Выгоды партнерства очевидны. МГУЛ – головной вуз отрасли. Ежегодно на новых станках обучаются несколько сотен будущих инженеров, которые через 2–3 года придут в промышленность, уже зная не понаслышке фирмы, производящие лучшее оборудование. МГУЛ за счет расширения профессиональной деятельности, укрепления учебно-производственных баз практики, сертификации сумел сохранить педагогический коллектив, привлечь в него перспективные молодые силы.

Пройдя обучение на фирме «Biesse s.p.a.» и в представительстве этой фирмы в Москве, сотрудники Учебного центра МГУЛ получили возможность решать задачи нового уровня. Прежде всего, это обучение студентов на современном оборудовании, а также подготовка и переподготовка операторов деревообрабатывающих предприятий продолжительностью от 2 недель до 4 месяцев, повышение квалификации инженерно-технических работников предприятий и преподавателей, демонстрация оборудования и консультации заинтересованных специалистов.

Известны рассуждения некоторых зарубежных специалистов о том, что преследуя цель популяризации своей продукции нет смысла отдавать безвозмездно дорогостоящую технику в распоряжение вузов. За деньги, вырученные от продажи, можно развернуть рекламную компанию, которая даст больший эффект. Целесообразнее открыть училища, оснащенные этой техникой, в которых обучать операторов, как это делается в странах со слабой экономикой.

На наш взгляд, эти подходы не противоречат друг другу. Конечно, подготовка операторов современного оборудования – это важная задача. Но ориентироваться только на подготовку рабочих – значит за-

ранее обречь страну на положение потребителя ввозимой из-за рубежа техники. Только подготовка специалистов в высших учебных заведениях, лаборатории которых оснащены современным оборудованием, позволит обучить кадры, способные возродить отечественное деревообрабатывающее станкостроение.

Эти два подхода отражают интересы, с одной стороны, зарубежных фирм, продающих нам станки и не заинтересованных в конкуренции, а с другой стороны, интересы отечественной экономики, нуждающейся в собственной станкостроительной базе. Повторяем, противоречия нет. Предприятия, на которых будут работать специалисты, овладевшие современной техникой и технологией, станут больше и охотнее покупать сложное компьютеризированное оборудование. Поэтому создание Учебного центра на кафедре станков и инструментов МГУЛ выгодно всем.

Занятия в Учебном центре при кафедре станков и инструментов МГУЛ ведут опытные преподаватели: профессора и доценты, доктора и кандидаты технических наук. Разработаны учебные планы и программы подготовки, лицензирована учебная деятельность. Организовано размещение и проживание обучающихся в МГУЛ. За счет этого стоимость обучения становится доступной практически для всех предприятий и организаций.

В соответствии с договорами МГУЛ с зарубежными фирмами последние обязуются ежегодно менять оборудование Учебного центра на последние модели, что делает возможным регулярное повышение квалификации специалистов. Заинтересованность партнеров МГУЛ подтверждается организа-

цией фирмой «Biesse s.p.a.» преддипломной практики студентов – будущих инженеров-механиков – на предприятиях компании в Италии в 2003, 2004 и 2005 годах.

За год с небольшим существования Учебного центра обучение с целью повышения квалификации прошли около ста операторов, инженерно-технических сотрудников предприятий и студентов.

Нет ничего удивительного, что кафедра станков и инструментов, также как и МГУЛ в целом, оказалась востребованной в современной обстановке. Предпосылками этого стали не только коммерческий интерес к отрасли, потребность в кадрах и удачное стечение обстоятельств.

Основой успеха безусловно является многолетняя стабильная обстановка на кафедре и в вузе, давние педагогические традиции, развитие и поддержка научных школ, сохранение высокого профессионализма и квалификации коллектива.

Поощрение профессиональной активности преподавателей, рост дополнительных образовательных услуг в сочетании с преемственностью традиций и воспитанием кадров обусловили состоятельность кафедры.

Очевидно, что взаимодействие и взаимовлияние процессов развития кафедры оказалось не только сложным и неоднозначным, но и в определенной степени гармоничным.

Самый главный результат состоит в том, что, не потеряв ничего ценного из старого опыта, кафедра эволюционным путем подошла к новому состоянию готовности успешно взаимодействовать с отраслью, обеспечивать ее потребности в изменяющихся условиях.

## ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ СДВОЕННЫХ АГРЕГАТОВ ГИБКИХ ЛИНИЙ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.М. КУЗНЕЦОВ, *проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, д-р техн. наук*

Перспективным направлением интенсификации лесопильной промышленности является внедрение новой технологии, позволяющей соединить высокую производительность и комплексность использования сырья, присущих лесопилению на агрегатном оборудовании, с высокой технологической гибкостью индивидуального и индивидуально-группового раскроя. Благодаря возможности оперативного изменения схемы раскроя с учетом размерных и качественных характеристик пиловочного сырья, эта технология обеспечивает повышение объемного и качественного выхода пиломатериалов и снижение затрат на предварительную сортировку сырья.

Реализация данной технологии требует внедрения в промышленность нового головного лесопильного оборудования на базе ленточно-пильных, фрезерно-пильных и фрезерно-брусующих агрегатов, у которых фрезерные и пильные суппорты располагаются симметрично относительно оси про света и могут автоматически настраиваться на необходимые размеры обработки по командам оператора или системы программного управления раскромом.

Создание сдвоенных лесопильных агрегатов с программным управлением и гибких лесопильных линий на их базе потребовало решения ряда сложных технических задач. Одной из них является разработка автоматизированных механизмов размерной настройки, осуществляющих позиционирование рабочих органов агрегатов в координаты, определяемые выбранной схемой раскроя. К этим механизмам предъявляются требования высокой точности позиционирования, быстродействия и хороших динами-

ческих качеств, поскольку масса перемещаемых органов достигает 5–8 тн, а время обработки размера сокращается до 2–3 с.

На кафедре станков и инструментов Московского государственного университета леса в течение ряда лет проводились теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых разработаны рекомендации по совершенствованию существующих и внедрению новых механизмов размерной настройки сдвоенных лесопильных агрегатов с программным управлением.

Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленных стендах, позволяющих имитировать реальные нагрузки на механизмы, а также в производственных условиях – на сдвоенных ленточно-пильных и фрезерно – брусующих станках.

Требованиям, предъявляемым к автоматизированным механизмам размерной настройки (АМРН) СЛА, наиболее полно отвечают короткоходовые электрогидравлические поршневые механизмы поступательного действия (ЛЭГИМ). Они позволяют непосредственно реализовать однокоординатное прямолинейное перемещение рабочих органов в требуемом диапазоне (до 360 мм) без промежуточных кинематических передач. Эти механизмы имеют электрическое входное звено и преобразуют электрический управляющий сигнал малой мощности в соответствующее силовое перемещение выходного штока.

Наличие позиционной обратной связи (ОС) является основным классификационным признаком ЛЭГИМ, по которому они делятся на разомкнутые (без ОС) и замкнутые (с ОС). В разомкнутых ЛЭГИМ контролируется лишь достижение РО конечного

положения, но информация о текущем положении РО для управления его движением отсутствует.

В замкнутых ЛЭГИМ осуществляется непрерывный контроль текущего положения РО, а получаемая при этом информация используется для управления конечным положением РО и формой переходного процесса. Это позволяет обеспечить высокую точность позиционирования и необходимые динамические характеристики.

Проведенный анализ позволил выявить наиболее перспективные для применения в СЛА с ПУ технические решения по реализации структуры ЛЭГИМ и их отдельных элементов.

На основании вышеизложенного были выбраны, разработаны и испытаны на стендах по единой методике ЛЭГИМ четырех типов:

– многопоршневые гидропозиционеры с дискретностью 0,5 или 1,0 мм;

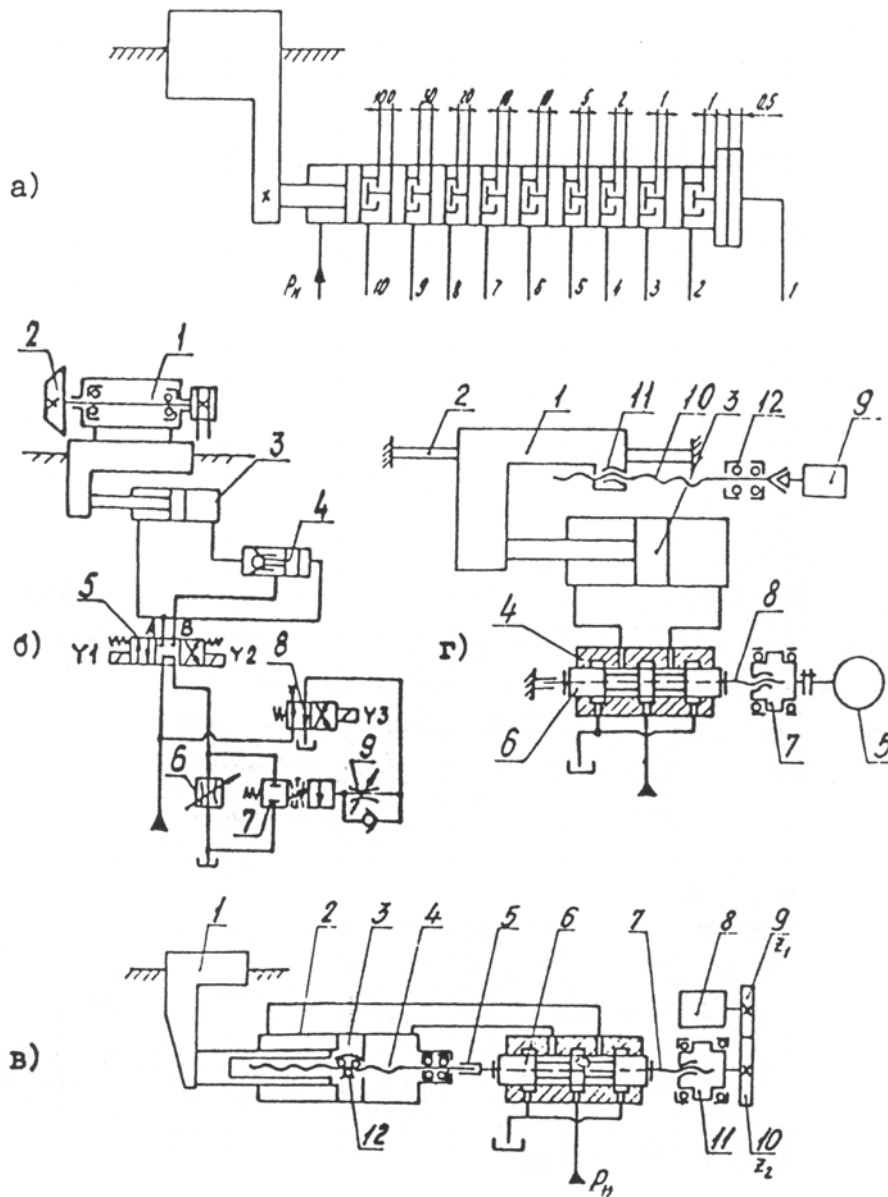


Рисунок. Схемы ЛЭГИМ: а – многопоршневой гидропозиционер; б – релейного действия; в – импульсно-шагового действия с МОС; г – импульсно-шагового действия с ЭОС

– механизмы релейного действия на базе фотоэлектрического измерительного преобразователя перемещений (ИПП) и устройства цифровой индикации (УЦИ);

– механизм импульсно-шагового действия с МОС на базе обратимой винтовой передачи;

– механизм импульсно-шагового действия с ЭОС на базе фотоэлектрического ИПП.

Гидравлический позиционер (рисунок, а) представляет собой многопоршневой исполнительный механизм дискретного действия, работающий по выбранному принципу суммирования мерных перемещений отдельных поршней, взаимосвязанных ограничителями хода, и от разомкнутой системы управления. При этом он преобразует цифровой управляющий сигнал на входе в виде параллельного двоично-десятичного кода в соответствующее дискретное положение выходного звена (обычно штока) с одновременным усилением по мощности.

Перемещение выходного звена  $Y_{вых}$  такого гидропозиционера можно представить в виде

$$Y_{вых} = Y_0 \sum_{k=0}^{n-1} \alpha_k \cdot 10^k, \quad (1)$$

где  $Y_0$  – дискрета, т.е. номинальный ход первого поршня младшего разряда, мм;

$K$  – номер разряда ( $K = 0; 1; 2$ );

$\alpha_k = \bar{\alpha}_i \bar{X}_k$  – скалярное произведение, характеризующее комбинации ходов поршней внутри каждого разряда;

$\bar{\alpha}_i = \{1; 2; 2; 4\}$  – вектор, кодирующий веса ходов поршней внутри каждого разряда десятичного числа;

$\bar{X}_k$  – вектор состояний соответствующего разряда и поршня (принимает значения 0 или 1);

$i$  – номер поршня в соответствующем разряде ( $i = 1; 2; 3; 4$ ).

В механизме релейного действия (рисунок, б) направлением перемещения и остановкой штока гидроцилиндра 3 управляет трехпозиционный гидрораспределитель 5, снижением скорости позиционирования при подходе к заданной координате – дроссели-

рующий гидрораспределитель (ДГ) 7 с односторонним гидравлическим управлением. Скорость медленного подвода к координате определяется настройкой дросселя регулятора расхода 6. Гидрозамок 4 запирает поршневую полость ГЦ и надежно фиксирует РО 1 с фрезой 2 в заданном положении.

Механизм импульсно-шагового действия преобразует электрический сигнал на входе в виде количества  $N$  электрических импульсов в соответствующее дискретное перемещение  $L$  штока ГЦ.

В ЛЭГИМ с МОС (рисунок, в) направлением и скоростью движения поршня 3 ГЦ управляет четырехкромочный ДГ с шаговым электродвигателем (ШД) 8 на входе. При подаче импульсов на обмотки ШД его ротор поворачивается на определенный угол и смещает золотник 6 ДГ из нейтрального положения. При этом одна полость ГЦ соединяется с напорной линией, другая – со сливной, и поршень начинает перемещать РО 1 в заданном направлении. Перемещение поршня на заданный размер  $L$  продолжается до тех пор, пока золотник ДГ не вернется в исходное нейтральное положение. Это происходит при уменьшении рассогласования до 0, т. е. при

$$\Delta\varphi = \varphi_{вх} - \varphi_{ос} = 0, \quad (2)$$

где  $\Delta\varphi$  – угол рассогласования в винтовом преобразователе.

$\varphi_{вх}$  – угол поворота гайки 11 винтового преобразователя;

$\varphi_{ос}$  – угол поворота винта 4 МОС.

В импульсно-шаговом ЛЭГИМ с ЭОС (рисунок, г) ротор ШД 5 поворачивается на угол, пропорциональный разности числа задающих импульсов (поступающих с программоносителя) и импульсов ОС, поступающих от ИПП 9, и смещает золотник 6 ДГ 4 из нейтрального положения. В результате поршень ГЦ 3 начинает перемещать суппорт в заданном направлении. При перемещении РО на заданное расстояние указанная разность импульсов становится равной нулю. При этом ШД возвращает золотник ДГ в нейтральное положение и суппорт останавливается.

Экспериментальные исследования механизмов размерной настройки осуществлялись по единой методике, что позволило обеспечить сопоставимость результатов при их сравнительном анализе.

Для проведения сравнительных испытаний и исследования ЛЭГИМ по единой методике были изготовлены два экспериментальных стенда, отличающиеся конструкцией направляющих скольжения (цилиндрические или прямоугольные) и способом имитации массы перемещаемого рабочего органа. Экспериментально определялись точностные, скоростные, силовые характеристики и осевая жесткость механизмов.

Результаты проведенных по единой методике исследований четырех типов ЛЭГИМ размерной настройки позволили определить области их рационального применения.

Наилучшие точностные характеристики имеют ЛЭГИМ с ЭОС, которые обеспечивают точность позиционирования в пределах 0,08 мм при повторяемости  $\pm 0,03$  мм. Программное управление разгоном и торможением этих механизмов позволяет реализовать оптимальный закон изменения скорости и обеспечить высокое быстродействие.

Преимуществом комплектного ЛЭГИМ с МОС является высокое быстродействие и хорошие динамические качества, компактность, удобство эксплуатации. Однако наличие механических передач в цепи обратной связи по положению несколько снижают точность позиционирования (систематические погрешности достигают 0,15 мм при повторяемости  $\pm 0,08$  мм).

ЛЭГИМ релейного действия обеспечивают высокую точность позиционирования при одностороннем подходе к заданным координатам, но обладают более низкими скоростными и динамическими качествами.

Многопоршневые гидропозиционеры обеспечивают более низкую точность пози-

ционирования даже при относительно высокой точности изготовления ограничителей ходов отдельных поршней. Это объясняется суммированием погрешностей ходов отдельных поршней, участвующих в отработке размера, а также упругими деформациями ограничителей ходов и стыков между поршнями.

Быстродействие многопоршневых гидропозиционеров ограничивается высокими значениями ускорений при разгоне и торможении, ударами в конце хода, а также возможными «провалами» скорости и кратковременными реверсами в начале отработки перемещения.

На основании сравнительного анализа четырех типов электрогидравлических механизмов размерной настройки были обоснованы рекомендации по их применению в сдвоенных лесопильных агрегатах с числовым программным управлением:

в фрезерно-пильных линиях проходного типа, осуществляющих индивидуально-групповой раскрой пиловочных бревен со сменной поставкой 2-3 раза в час, целесообразно применять ЛЭГИМ релейного действия с управлением от УЦИ;

в сдвоенных станках и линиях, осуществляющих индивидуальный раскрой пиловочного сырья с размерной настройкой пильных блоков или фрезерующих суппортов в каждом рабочем цикле, следует применять замкнутые ЛЭГИМ импульсно-шагового действия с механической (МОС) или электрической (ЭОС) обратной связью по положению.

При этом следует отметить, что ЛЭГИМ с ЭОС обеспечивают точность отработки задаваемых перемещений в пределах  $\pm 0,1$  мм и позволяют при соответствующем состоянии оборудования формировать сечения тонких пиломатериалов ( $B \leq 35$  мм), имеющих допуск  $\pm 1,0$  мм.

## ЛУЩИЛЬНЫЙ СТАНОК С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.М. КУЗНЕЦОВ, *проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, д-р техн. наук*

Одно из направлений научно-исследовательских работ, выполняемых на кафедре станков и инструментов МГУЛ с участием студентов старших курсов, – разработка научных основ и обоснование параметров лущильного станка нового поколения с электрогидравлическим механизмом подачи ножевого суппорта и программной настройкой на толщину шпона.

В большинстве лущильных станков (отечественные Лу17-10, финские 3V и 4V, станки фирмы «Raute» и др.) поперечная подача ножевого суппорта осуществляется двумя ходовыми винтами, кинематически жестко связанными с приводом вращения шпинделей. Подача суппорта на один оборот шпинделей определяет толщину срезаемого шпона и устанавливается с помощью гитары сменных шестерен.

Недостатками лущильных станков с жесткой кинематической связью механизма подачи ножевого суппорта с приводом вращения шпинделей являются трудоемкость переналадки станка с одной толщины шпона на другую, необходимость большого комплекта сменных шестерен и невозможность получения из одного чурака шпона двух различных толщин.

Указанных недостатков лишены лущильные станки нового поколения с электрогидравлическим механизмом подачи ножевого суппорта и программной настройкой на толщину шпона, в частности, вариант станка с механизмом подачи импульсно-шагового действия и регулируемым делителем частоты импульсов, разработанный на кафедре станков и инструментов МГУЛ.

Функциональная схема лущильного станка с программным управлением (ПУ) показана на рис. 1, а структурная схема импульсно-шаговой системы управления – на рис. 2.

Поперечная подача ножевого суппорта (НС) 3 осуществляется двумя гидроцилиндрами ГЦ1 и ГЦ2 (см. рис. 2), являющимися исполнительными органами электрогидравлических следящих механизмов (ЭГСМ) 4 импульсно-шагового действия. Каждый ЭГСМ, кроме исполнительных гидроцилиндров, содержит дросселирующий гидрораспределитель ДГ с винтовым преобразователем ВП и шаговым двигателем ШД на входе. Входы дросселирующих гидрораспределителей подключены параллельно к насосной установке с регулируемым аксиально-поршневым насосом, который автоматически изменяет подачу масла в соответствии с потребляемым гидросистемой расходом.

Отрицательная обратная связь по положению в каждом ЭГСМ осуществляется шарико-винтовой передачей (МОС), гайка которой встроена в поршень, а обратимый винт смонтирован в радиально-упорных шарикоподшипниках.

СПУ работает следующим образом.

Толщина шпона программируется оператором с помощью устройства задания толщины (УЗТ), выполненного в виде регулируемого делителя количества импульсов или линейного интерполятора.

Обмотки управления шаговых двигателей ШД1 и ШД2 через соответствующие блоки БУШД (они содержат электронный коммутатор и усилители импульсов) подключены к импульсному выходу программируемого логического контроллера ПЛК, что обеспечивает синхронизацию их работы. Управляющие импульсы на входы шаговых двигателей поступают от кругового фотоэлектрического измерительного преобразователя ИИП, контролирующего угол поворота шпинделей, или непосредственно от генератора импульсов холостого хода (при быстром отводе суппорта назад).



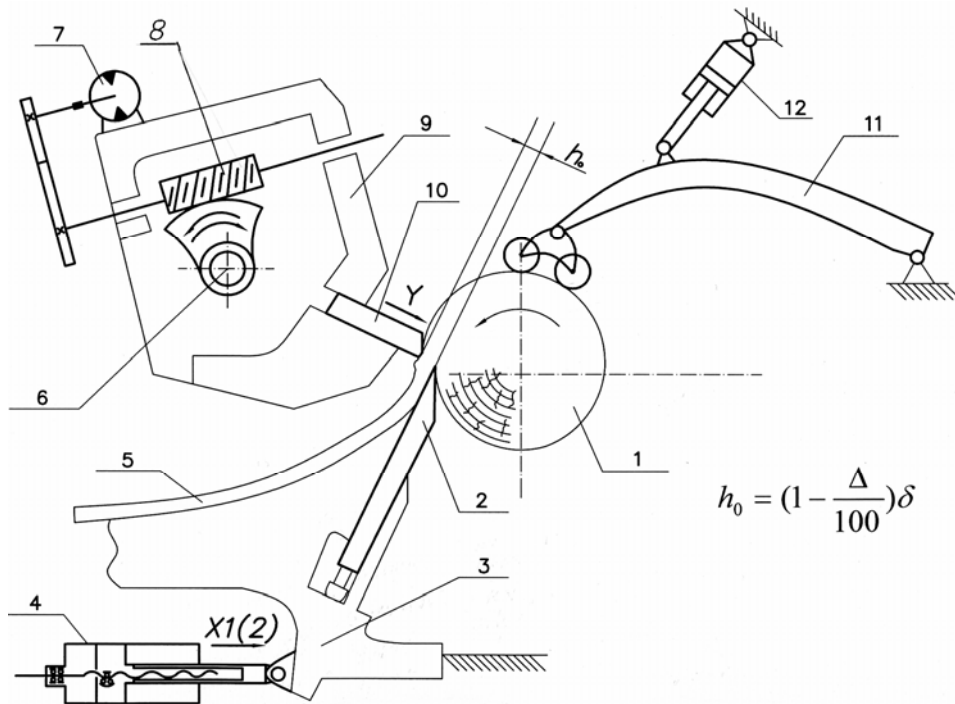


Рис. 1. Функциональная схема лущильного станка

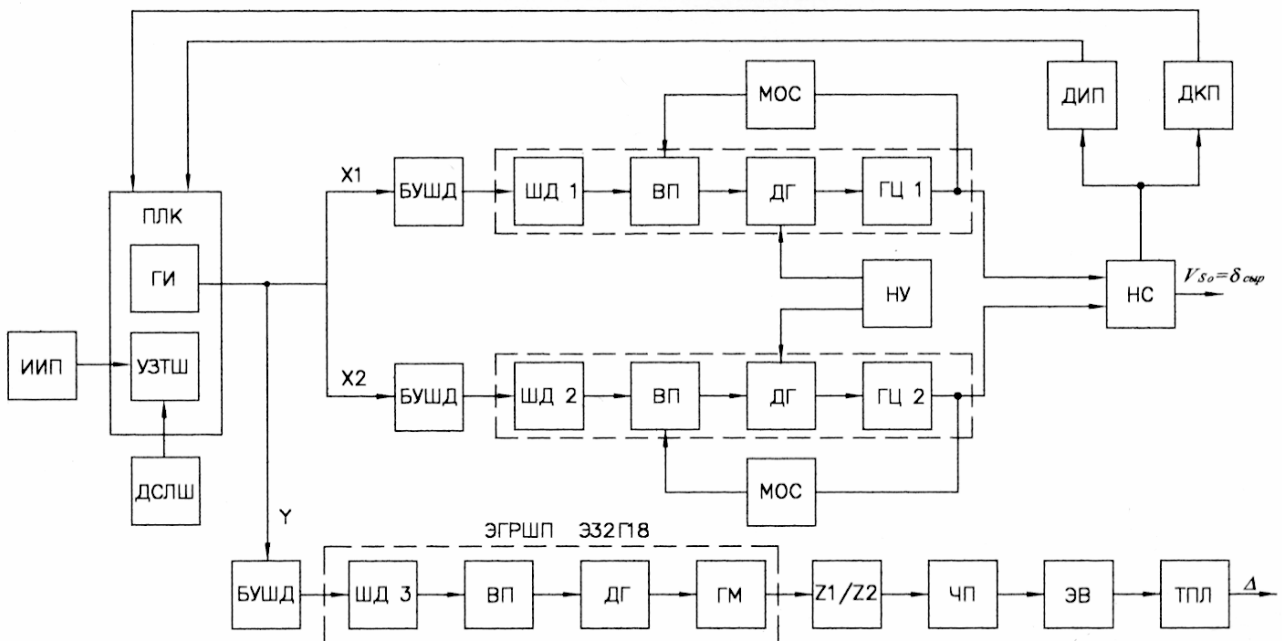


Рис. 2. Структурная схема электронно-гидравлической системы программного управления лущильным станком с механической обратной связью по положению ножевого суппорта:  
 ПЛК – программируемый логический контроллер; ГИ – генератор импульсов;  
 ИИП – измерительный импульсный преобразователь; УЗТШ – устройство задания толщины ленты шпона; ДСЛШ – датчик состояния лента шпона; ШД – шаговый двигатель; БУШД – блок управления шаговым двигателем; ВП – винтовая передача; ДГ – дросселирующий гидрораспределитель; ГМ – гидромотор; Z<sub>1</sub>/Z<sub>2</sub> – зубчатая передача; ЧП – червячная передача; ГЦ – гидроцилиндр; ЭВ – эксцентриковый вал; ДИП – датчик исходного положения; ДКП – датчик конечного положения; НС – ножевой суппорт; ОС – обратная связь; ТПЛ – траверса прижимной линейки; НУ – насосная установка

Разлучиваемый чурок 1 центрируется, зажимается телескопическими шпинделями и приводится во вращение асинхронным электродвигателем с плавным регулированием частоты.

При поступлении команды «Цикл» на входы ШД от импульсного измерительного преобразователя ИИП за каждый оборот шпинделей поступает определенное количество импульсов (270 имп./об.), что обеспечивает обдирочную подачу величиной 2,7 мм/об.

По окончании стадии обдирки (чурок приобретает правильную цилиндрическую форму и срезаемая лента шпона становится непрерывной) срабатывает фотоэлектрический датчик контроля состояния ленты шпона ДСЛШ и контроллер переключает систему на рабочую подачу, соответствующую запрограммированной толщине шпона.

При срабатывании путевого датчика (бесконтактного выключателя), установленного на определенном расстоянии от оси шпинделей, ПЛК переключает блок управления на второе запрограммированное значение толщины шпона. Благодаря этому сердцевинная часть чурака разлучивается на шпон большей толщины, чем периферийная.

В процессе разлучивания чурака ножевой суппорт приближается к оси шпинделей. При диаметре чурака менее 150 мм в работу вступает ограничитель прогиба, перемещаемый специальным гидроцилиндром 12. При наименьшем допускаемом диаметре остатка (называемого «карандашом») срабатывает датчик конечного положения суппорта ДКП. При этом контроллер отключает механизм вращения шпинделей, и на входы шаговых двигателей поступают импульсы холостого хода. Происходит ускоренный отвод суппорта в исходное положение, соответствующее диаметру очередного посту-

пающего чурака, измеренного захватами центрирующе – загрузочного устройства.

Для периодической размерной настройки прижимной линейки 10 (см. рис. 1), обеспечивающей необходимую степень обжима шпона, предусмотрена независимая координата, исполнительным органом которой является ротационный электрогидравлический шаговый привод ЭГШП с шаговым двигателем ШД 3 (рис. 2). Исполнительным органом этого привода является гидромотор ГМ 7, который через понижающую зубчатую передачу  $Z_1/Z_2$ , периодически поворачивает вал червяка 8 на дискретный угол, соответствующий количеству поступивших импульсов. При этом червячное колесо поворачивает эксцентриковый вал 6, который изменяет положение траверсы 9 с прижимной линейкой 10.

На кафедре станков и инструментов разработаны техническое задание и техническое предложение на базовую модель лущильного станка нового поколения. Техническая документация выполнена в электронном виде и может быть передана промышленности в сжатые сроки.

В техническом предложении предусмотрена максимально возможная унификация нового станка с выпускаемым заводом «Пролетарская свобода» (г. Ярославль) – мод. ЛУ17-10. Унификация базовых деталей позволит существенно сократить сроки освоения новой модели.

Разработанный лущильный станок допускает быструю переналадку на одну из запрограммированных толщин шпона, позволяет автоматизировать цикл разлучивания чурака и сократить его длительность на 10–12 %, а также увеличить выход тонкого шпона путем разлучивания на шпон двух толщин – тонкий из периферийной, и толстый – из центральной частей.

## СЕРТИФИКАЦИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

В.Г. БОНДАРЬ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ,

А.В. КОРЧАТОВ, ст. преподаватель каф. «Станки и инструменты» МГУЛ

Сертификация оборудования и инструмента деревообрабатывающих производств является новым и важным направлением деятельности кафедры станков и инструментов МГУЛ, сформировавшимся за последние годы.

Положительное влияние сертификации на работу кафедры выражается прежде всего в установлении прямых рабочих контактов кафедры с ведущими зарубежными компаниями-производителями деревообрабатывающего оборудования и инструмента, позволившими начать разработку совместных взаимовыгодных проектов. Преподаватели и студенты получили неограниченный доступ к технической документации на современное оборудование. Заработанные средства используются для улучшения материально-технической базы кафедры.

В октябре 1994 г. Госстандарт России обратился к руководству МГУЛ с предложением организовать при кафедре станков и инструментов Центр сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента. При этом «автоматически» выполнялись главные требования, предъявляемые к органам по сертификации и испытательным лабораториям – компетентность и высокая квалификация работников, независимость от производителей и потребителей продукции.

Инициативная группа в составе профессора В.В. Амалицкого, доцента В.Г. Бондаря, инженера С.А. Пасько, ознакомившись с впечатляющим объемом предстоящих подготовительных работ и пакетом необходимых документов по аккредитации, приняла нелегкое решение – начать все сначала и принять предложение руководства МГУЛ и Госстандарта РФ.

За 5 месяцев был выполнен большой объем подготовительных работ по аккредитации Центра сертификации (ЦС) в составе Органа по сертификации (ОС) и Испытательного центра (ИЦ). Оформлены уставные документы, определена область аккредитации, разработаны паспорта ОС и ИЦ и руководства по качеству, актуализирована нормативная документация (ГОСТ, ОСТ и др.), разработаны методики сертификационных испытаний и формы протоколов, приобретены и отремонтированы измерительные приборы, спроектированы и изготовлены испытательные стенды, выполнена аттестация и поверка приборов и оборудования, ремонт помещений кафедры. Параллельно будущие работники ОС и ИЦ проходили обучение на экспертов по сертификации станкоинструментальной продукции.

Неоценимую помощь и поддержку в организации Центра сертификации оказали ректор МГУЛ профессор А.Н. Обливин, проректор МГУЛ доцент А.П. Чувашев, заместитель начальника управления машиностроения Госстандарта РФ А.Г. Пасько, начальник отдела управления стандартизации и сертификации в машиностроении Госстандарта РФ С.П. Рябов, заведующий сектором ВНИИНМАШ Л.К. Гирин.

В марте 1995 г. Комиссия Госстандарта РФ, проведя проверку документации и материально-технической базы, приняла решение о возможности аккредитации ОС и ИЦ в системе сертификации ГОСТ Р. В мае 1995 г. Госстандарт РФ принял решение об аккредитации Органа по сертификации и Испытательного центра и выдал аттестаты № РОСС RU.0001.11ДС01 и № РОСС RU.0001.21ДС01.

Первые сертификаты соответствия были выданы в сентябре 1995 г. фирме «Wolf Sistem» (Австрия) на лесопильное оборудование и фирме «Michael Weinig AG» (Германия) на станки четырехсторонние продольно-фрезерные.

В настоящее время Центр сертификации имеет постоянные рабочие контакты более чем с 200 ведущих компаний-производителей деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента России, Германии, Италии, Австрии, Франции, Финляндии, Чехии, Словении, Польши, Тайваня, Америки, Китая, Турции.

Большой объем работ по сертификации, выполненный за последние годы, и накопленный опыт позволяют сделать некоторые обобщения и выводы.

По определению **сертификация** – это форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Система подтверждения соответствия продукции требованиям безопасности и установленным качественным характеристикам в виде сертификации была введена в нашей стране около десяти лет назад при переходе от плановой экономики к рыночным отношениям в промышленности, как альтернатива существовавшей ранее системе аттестации продукции по техническому уровню. Пройдя несколько этапов в своём развитии, сертификация сформировалась в настоящее время в достаточно стройную систему, позволяющую оценить происхождение продукции, её основные характеристики и, главное, безопасность при использовании ее потребителем.

В декабре 2002 года был принят Федеральный закон «О техническом регулировании», который призван регулировать отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных или добровольных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранении, перевозке, реализации и утилизации, а также определяет порядок

оценки соответствия. Закон подводит под имеющуюся систему подтверждения соответствия правовую основу, соответствующую духу времени, приближает её к международным нормам.

Одной из целей Федерального закона является создание двухуровневой системы нормативных документов: технических регламентов, которые содержат обязательные требования, и добровольных стандартов. Технические регламенты могут быть приняты только федеральными законами, постановлениями Правительства РФ или, в особых случаях, указами Президента Российской Федерации. Основным отличием новой системы от существующей, как уже отмечалось выше, является придание стандартам статуса добровольных.

Новым в законе «О техническом регулировании» является понятие **технического регламента** как документа, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, определенном законодательством Российской Федерации, и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, процессам производства, эксплуатации и др.), исключая требования к конструкции и исполнению продукции.

Технические регламенты применяются одинаковым образом и в равной мере, независимо от страны и (или) юридических лиц, являющихся изготовителями, продавцами, приобретателями». В технических регламентах должны быть изложены правила и методы исследований (испытаний) и измерений, а также правила отбора образцов для проведения исследований (испытаний) и измерений.

Применительно к оборудованию деревообрабатывающих производств к категории технических регламентов в настоящее время могут быть отнесены стандарты на безопасность деревообрабатывающего и точного оборудования ГОСТ 12.2.026.0-93, ГОСТ Р МЭК 60204-1-99, ГОСТ 25223-82, ГОСТ 12.2.009-99, ГОСТ 7599-82. Для дере-

ворежущего и заточного инструмента – разделы стандартов, определяющих порядок и методы испытаний на безопасность: ГОСТ 9769-79 п. 4.4 (пилы дисковые твердосплавные), ГОСТ 11291-81 п. 5.5.1. (фрезы насадные с напаянными пластинами), ГОСТ 13932-80 п. 4.6 (фрезы насадные сборные), ГОСТ 12.3.023-82 и ГОСТ 12.3.028-82 (инструмент заточной).

Соблюдение регламентов обязательно. Если производитель желает в документации на продукцию указать её соответствие обязательным требованиям технического регламента, то в этом случае он должен доказать контролирующим органам соответствие данного изделия регламенту, подав декларацию о соответствии.

В Федеральном законе даётся новое определение **стандарта** как документа, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Особо подчеркивается добровольный характер их применения.

Технические стандарты должны устанавливать требования к результату, который должен быть получен, а не к способу его достижения. Иными словами стандарт, как правило, должен устанавливать эксплуатационные характеристики продукции и только при необходимости – требования к конструкции. Это позволит производителям самим выбирать конструктивное решение, наиболее целесообразное для них в экономическом отношении.

К сожалению, практическая реализация Закона «О техническом регулировании» несколько задерживается по причине реорганизации головных организаций, занимающихся вопросами стандартизации, метрологии и сертификации.

Деревообрабатывающая промышленность, даже в условиях экономического кризиса, осталась одной из немногих отраслей, продолжающих реально работать, сохранив при этом перспективы дальнейшего развития.

Практически все имеющиеся в мире передовые технологии и оборудование оказались востребованными отечественной лесной и деревообрабатывающей промышленностью.

Оборудование и инструмент деревообрабатывающих отраслей промышленности отличается большим разнообразием, которое объясняется большим разнообразием методов механической обработки древесины и древесных материалов, применяемых при изготовлении продукции. В деревообрабатывающих цехах работают станки, полуавтоматы, автоматы и автоматические линии различного технологического назначения. Они выполняют обработку древесины и древесных материалов резанием, отделку деталей, узлов и изделий, обработку давлением с получением композиционных материалов на древесной основе и клеёных деталей, сборку деталей и узлов, контроль качества продукции и сортировку изделий. Вспомогательные операции осуществляются специальными загрузочно-разгрузочными и транспортно-перегрузочными устройствами.

В то же время необходимо учитывать, что практически всё деревообрабатывающее и заточное оборудование, режущие и заточные инструменты по различным причинам представляет потенциальную угрозу безопасности работающих на нём людей и окружающей среде и относится к продукции подлежащей обязательной сертификации. Для производства, реализации и эксплуатации такой продукции необходимы сертификаты соответствия, подтверждающие ее соответствие требованиям стандартов Российской Федерации, а в будущем регламентам, в том числе и международным.

Добровольная сертификация выполняется по заказам изготовителей и потребителей деревообрабатывающего и заточного оборудования и режущего и абразивного инструмента.

В настоящее время внутренний рынок насыщен продукцией деревообрабатывающей промышленности. Растут объемы экспорта продукции деревообработки. Единственный путь обеспечить реализацию продукции – повышение её качества и снижение

себестоимости производства на основе современной технологии, базирующейся на высокоэффективном оборудовании и инструменте. Это подтверждается ростом требований к качеству деревообрабатывающего оборудования и инструмента, предъявляемых деревообрабатывающими предприятиями и торгующими организациями не только к отечественному, но и импортному оборудованию и инструменту.

Если до недавнего времени основным критерием при выборе деревообрабатывающего оборудования и инструмента являлась их стоимость, то сейчас на первое место выходят такие параметры, как технологическая точность, качество обработки, производительность, энергопотребление и надёжность (для дереворежущего инструмента – стойкость). Надёжность, как показатель качества продукции, особенно важна, так как определяет способность станка или инструмента сохранять свои высокие начальные параметры и характеристики во времени.

Практически это выражается в том, что подавляющее большинство закупаемого сейчас оборудования и инструмента изготовлено ведущими фирмами Германии, Италии, Финляндии, обеспечивающими стабильно высокое качество выпускаемой продукции мирового уровня.

В области деревообрабатывающего оборудования к таким фирмам можно отнести: BIESSE GROUPE, WEINIG, HOMAG, RAUTE WOOD, SCM GROUP, SAC SUERI, STETON, WEMHOENER и др. В области дереворежущего инструмента – LEUKO, LEITZ, STEHLE, SANDVIK, GOLD, STARK, FREUD и др. Следует отметить, что все перечисленные фирмы имеют сертификат системы управления качеством серии ISO – 9001, имеющий мировое признание. Немаловажное значение имеет и их многолетний успешный опыт работы на российском рынке. Высокая стоимость оборудования и инструмента, выпускаемого этими фирмами, возмещается их качеством, надёжностью и сервисным обслуживанием.

Все производители деревообрабатывающего оборудования и инструмента в Ев-

ропе работают в системе сертификации уже длительное время, имеют опыт, необходимую техническую документацию, испытательное оборудование и методики измерений и испытаний, протоколы приёмочных испытаний, что упрощает сам процесс сертификации на соответствие стандартам РФ при сохранении самой процедуры.

Сертификационные испытания оборудования предприятий, имеющих сертификат управления качеством ISO – 9001, носят выборочный контрольный характер. Объем испытаний и их содержание определяется Органом по сертификации с учетом расходов в стандартах Европейского Союза и Российской Федерации. Это касается прежде всего испытаний на шум и вибробезопасность, испытаний напряжением, испытаний непрерывности цепи защиты станков, испытаний инструмента на прочность.

Работа по сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента, произведённых в Российской Федерации, имеет свои проблемы, особенности и специфику, которые объясняются целым рядом причин.

Прежде всего, это недостаточное количество государственных стандартов, их несогласованность между собой. Необходима актуализация, приведение в соответствие с регламентами и стандартами ЕС, при котором соотношение регламентов и стандартов будет примерно 1:1 – перевод части стандартов в категорию технических регламентов и наоборот.

Завышена номенклатура промышленной продукции, подлежащая обязательной сертификации. На сегодняшний день соотношение обязательной и добровольной сертификации в России составляет порядка 9:1, а в западноевропейских странах это соотношение прямо противоположное. Отсутствует эффективный контроль за выпуском и использованием несертифицированной продукции.

Встречаются производители, практически не имеющие опыта производства деревообрабатывающего оборудования и инструмента и не способные обеспечить ста-

бильное качество и безопасность продукции, но тем не менее ее выпускающие и реализующие. На предприятиях часто отсутствует система управления качеством выпускаемой продукции и необходимая техническая документация, нет испытательной базы и средств измерений, необходимых для контроля показателей безопасности продукции и качества её изготовления.

Раздел «охрана труда и техника безопасности при работе на оборудовании», руководств по эксплуатации практически всех компаний, даже имеющих сертификат серии ISO 9001, не соответствует требованиям стандартов на безопасность РФ. Учитывая российскую специфику, нужно помнить, что этот раздел пишется не только для оператора, работающего на оборудовании, но и для прокурора. Имеют место случаи, когда устройства и элементы безопасности оборудования (ограждения, блокировки, «когтевая завеса», кнопки аварийной остановки, реле тепловой защиты и др.) переводятся в состав «опций», поставляемых за дополнительную оплату. Это нарушение недопустимо.

В регионах страны недостаточно развита сеть специализированных испытательных лабораторий, способных оперативно оценить не только безопасность, но и технический уровень продукции предприятий региона.

Следует отметить то, что при проведении работ по обязательной сертификации испытательным лабораториям приходится не только рассматривать вопросы безопасности, но и проводить функциональные испытания станков, определять параметры, которые не предусмотрены стандартами на безопасность. Имеют место случаи, когда оборудование соответствует требованиям безопасности, но по своим характеристикам не отвечает требованиям технических условий или конструкция станка просто неработоспособна.

Важным направлением работ является повышение качества выпускаемой продукции. Наличие системы управления качеством на предприятии является необходимым условием выдачи сертификата на дли-

тельный период – до трех лет. Обеспечить качество без входного контроля, приемочных и периодических испытаний практически невозможно. Даже ведущие европейские фирмы, выпускающие деревообрабатывающие станки, используя детали и комплектующие лучших европейских фирм, вводят операции контроля качества и испытаний в технологический процесс.

Достаточно малый срок существования системы сертификации, высокие темпы расширения ее практического внедрения привели к тому, что научно-обоснованные положения и методики сертификационных испытаний конкретной продукции стали появляться только в последние годы. Совершенствование системы сертификации связано с накоплением и анализом опыта работы, что требует продолжительного времени. Имеющиеся и ранее используемые материалы по аттестации технического уровня оборудования могут быть применены при сертификации в ограниченном объеме.

Анализ существующей нормативной документации показывает, что, во-первых, её недостаточно, во-вторых, она носит общий рекомендательный характер, тогда как в практической работе требуются конкретные для данной продукции рекомендации, отражающие её специфику. В первую очередь необходимо определить номенклатуру показателей безопасности и технического уровня продукции, критерии оценки измеряемых параметров в сертификационных испытаниях и методики их измерения. Необходимы исследования и разработка нормативных документов, как для отдельных групп оборудования, так и для отдельных машин и линий.

В зависимости от принятой схемы сертификации показатели безопасности оборудования могут определяться на моменты его выпуска или реализации. При этом система сертификации ГОСТ Р не предусматривает испытаний на надёжность в рамках обязательной сертификации. При проведении испытаний деревообрабатывающего оборудования в рамках обязательной или добровольной сертификации определение начальных «стартовых» показателей безопасности

и технического уровня новой машины оказывается явно недостаточным. Высокий начальный уровень безопасности и качественные характеристики оборудования в процессе эксплуатации могут довольно быстро выйти за допустимые пределы. Поэтому главной целью испытаний можно считать установление закономерностей трансформации начальных показателей безопасности и параметров технического состояния машины во времени, т. е. получить информацию о её надёжности.

Испытания продукции на безопасность должны дополняться испытаниями в рамках добровольной сертификации, направленных для решения практических проблем заказчика.

При организации сертификационных испытаний деревообрабатывающих машин целесообразно оценивать следующие факторы:

- возможность исполнения деревообрабатывающими машинами и инструментом целевых функций, заявленных изготовителем, т. е. необходимость функциональной проверки изделий (идентификация продукции);
- соответствие оборудования требованиям безопасности и сохранение во времени показателей безопасности в пределах, установленных нормативными документами;
- обеспечение экологической безопасности оборудования в соответствии с возрастающими требованиями потребителей;
- соответствие технических характеристик машин характеристикам, заявленным изготовителем;
- сохранение функциональных параметров и потребительских свойств машин в заданных пределах в течение всего заявленного товаропроизводителем срока их эксплуатации.

Одной из важных задач, стоящих перед отечественными производителями деревообрабатывающего оборудования и инструмента является разработка новых добровольных стандартов на выпускаемую ими продукцию. При этом за основу могут быть приняты номенклатура и методики определения показателей технического уровня обо-

рудования (ГОСТ 2.116-84 и ГОСТ 4.404-88) и стандарты 70–80-х годов на деревоорежущий инструмент.

Номенклатура выбранных для оценки показателей должна наиболее полно характеризовать функциональное назначение, полезный эффект, затраты материальных, энергетических и трудовых ресурсов, а также показателей, характеризующих технологичность, безопасность, экологию, эргономику и др. Тем не менее существовавшая номенклатура показателей технического уровня, на наш взгляд, не полностью характеризует потребительские свойства оборудования и инструмента и не включает ряд важных характеристик, определяющих направления их совершенствования.

Качественные характеристики обработки определяются не только точностью обработки изделий. Для потребителей необходима дополнительная информация о шероховатости обработанных поверхностей, возможной величине сколов при форматном раскрое ламинированных щитов, стабильности физико-механических свойств продукции (производство ДСтП, ДВП и др.), сведения о технологической стабильности оборудования на периоде стойкости режущего инструмента и др.

Конструкторам и станкостроителям необходима информация о таких параметрах и характеристиках оборудования как геометрическая точность, жёсткость, виброустойчивость и др.

Как правило добровольные сертификационные испытания связаны с определением таких качественных характеристик обработки, как технологическая точность, шероховатость обработанных поверхностей и др. Определение этих параметров не вызывает серьёзных затруднений. Наибольшую сложность представляет проведение сертификационных испытаний оборудования на надёжность, при которых определяется способность оборудования сохранять качественные характеристики работы в процессе эксплуатации.

Отмеченное выше указывает на необходимость проведения специальных иссле-



дований по разработке экспресс-методов определения показателей надёжности в обязательных сертификационных испытаниях.

Эти же методы можно с успехом применить и при добровольной сертификации, которая не имеет таких жёстких временных рамок.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ В СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

В.Г. БОНДАРЬ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ,

А.В. КОРЧАТОВ, ст. преподаватель каф. «Станки и инструменты» МГУЛ

Научные работы кафедры станков и инструментов в последние годы помимо традиционных направлений, связанных с оборудованием и инструментом, получили дальнейшее развитие в области сертификационных испытаний деревообрабатывающего оборудования.

Федеральный закон «О техническом регулировании» и система сертификации ГОСТ Р определяют необходимость проведения обязательных сертификационных испытаний всей номенклатуры деревообрабатывающего оборудования, не исключая при этом возможности проведения дополнительных испытаний в рамках добровольной сертификации.

Обязательные сертификационные испытания в их сегодняшнем виде предусматривают определение показателей безопасности оборудования на момент его выпуска или реализации. При этом вполне возможно, что некоторые из основных показателей безопасности по мере эксплуатации оборудования будут ухудшаться. Поэтому, на наш взгляд, одной из основных задач обязательной сертификации является подтверждение выполнения требований к безопасности в течение всего срока службы оборудования.

Добровольные сертификационные испытания выполняются по заказам потребителей деревообрабатывающего оборудования. Как правило, эти испытания связаны с определением таких качественных характеристик обработки, как технологическая точность, шероховатость обработанных поверхностей и др.

Наибольшую сложность представляет проведение сертификационных испытаний оборудования на надёжность, при которых определяется способность оборудования сохранять качественные характеристики работы в процессе эксплуатации.

В ряде случаев даже кратковременные испытания на надёжность позволяют выявить скрытые дефекты или хотя бы определить скорость трансформации показателей безопасности.

Ограниченный срок проведения ускоренных сертификационных испытаний не позволяет установить в полном объеме поток постепенных отказов или выработать ресурс до наступления параметрического отказа  $t_0$ , например, до потери точности или превышения допустимого уровня звукового давления на рабочем месте оператора. В этом случае нахождение значения ресурса  $t_0$  элемента или станка по заданному параметру может быть определено методом экстраполяции или использованием существующих моделей прогнозирования по выявленным в процессе сертификационных испытаний начальным значениям параметров и закономерностям их изменений.

Вышесказанное позволяет сформулировать основные положения метода определения показателей безопасности и качества оборудования в сертификационных испытаниях:

– в качестве оценочных показателей в испытаниях принимаются уровень показателей безопасности, а также начальные значения и скорости трансформации показателей технического состояния станка по наработке;

– ресурс элемента или станка по рассматриваемому параметру определяется методом прогнозирования экспериментально полученных зависимостей его изменения в процессе испытаний на область больших значений наработки при достижении параметром предельно допустимой величины;

– сертификационные испытания целесообразно проводить по методике ускоренных стендовых испытаний с применением нагрузочно-имитирующих устройств, позволяющих вырабатывать ресурс станка без обработки древесины и древесных материалов;

– в испытаниях воспроизводится спектр эксплуатационных режимов нагружения, что даёт возможность пересчёта результатов испытаний в зависимости от реально существующих условий эксплуатации.

Естественно, что перечисленные ограничения не позволяют оценить надёжность станка в полном объёме. Но даже такая информация позволяет судить о безопасности и техническом состоянии станка более обоснованно, чем по результатам обычных приёмочных испытаний.

Определение показателей параметрической надёжности в короткие сроки возможно только методами ускоренных испытаний, которые устанавливают закономерности изменения параметров станка во времени с последующим прогнозированием поведения параметров. Для целей прогнозирования предлагается использовать модель параметрической надёжности, разработанную В.В. Амалицким и успешно используемую в исследованиях надёжности деревообрабатывающего оборудования.

В качестве параметра модели могут быть приняты как параметры безопасности станка (уровень звукового давления, виброускорение на рабочем месте и др.), так и параметры технического состояния станка (технологическая точность, геометрическая точность, жесткость и др.).

Для нахождения исходных параметров модели разработана программа ускорен-

ных испытаний на надёжность в сертификационных испытаниях.

Программа испытаний основана на чередовании типовых режимов нагружения с контролем параметров работы станка перед началом и после окончания каждого этапа испытаний (рис. 1).

Режимы нагружения станка в ускоренных сертификационных испытаниях разрабатываются путем систематизации информации о режимах и условиях работы аналогичного оборудования в промышленности по интегральному выходному показателю и составляющим цикла нагружения.

Сокращение длительности испытаний достигается за счет уплотнения испытаний во времени и применения нагрузочно-имитирующих устройств. Продолжительность испытаний  $\Delta t_{ji}$  на каждом из режимов определяется величиной достоверного определения приращения контролируемого параметра  $\Delta a$  во времени.

Ресурс станка вырабатывается главным образом на ступенях форсирования. Продолжительность этапа форсированных испытаний должна быть максимально возможной для увеличения выработки ресурса станка. Ограничение по времени определяется только продолжительностью общего периода отводимого на проведение сертификационных испытаний. По полученным данным рассчитываются средние значения приращения контролируемых параметров и скорости их изменения.

Объектом сертификационных испытаний на надёжность является станок, поэтому для исключения влияния затупления инструмента на надёжность при проведении натурального резания используется только острый режущий инструмент.

Испытания состоят из нескольких циклов –  $T_{цj}$ , каждый из которых включает несколько этапов испытаний на каждом из  $n$  типовых режимов для определения скоростей изменения  $\gamma_{ji}$  параметров состояния и этап форсированных испытаний для выработки ресурса со скоростью изменения параметров  $\gamma_{\phi}$ .

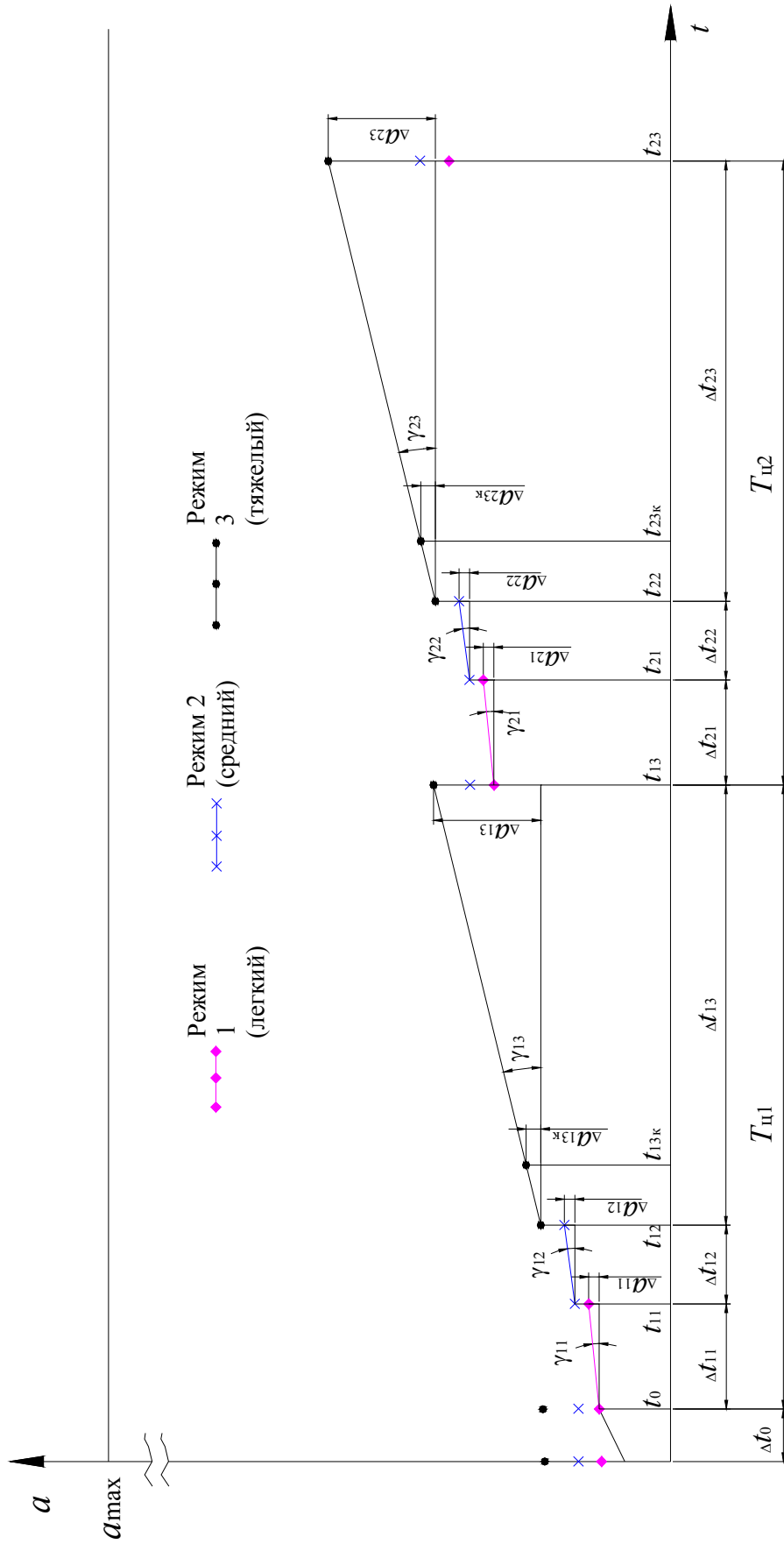


Рис. 1. Изменение обобщенного параметра станка в процессе сертифицированных испытаний на надежность

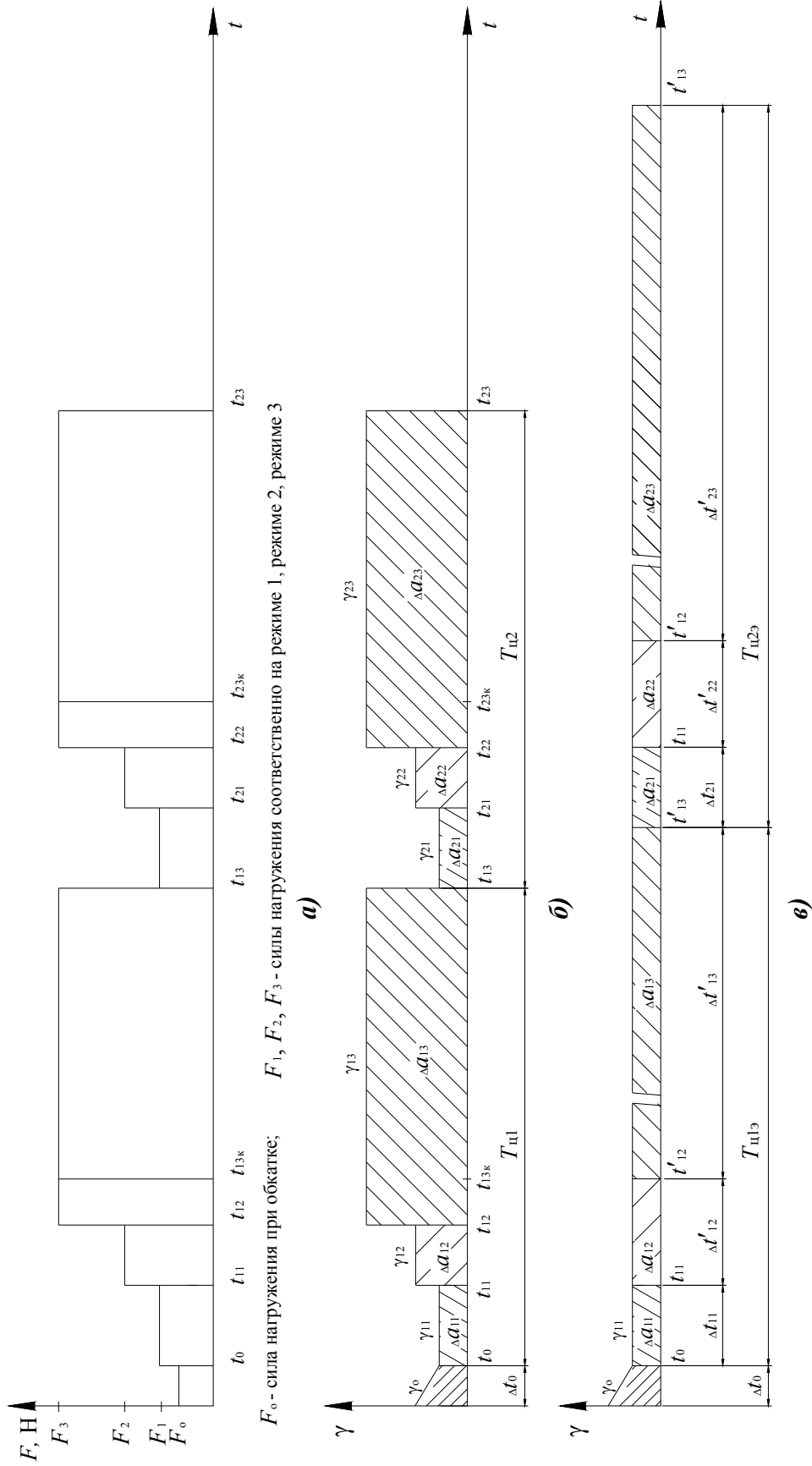


Рис. 2. Схема пересчёта времени наработки на первый эксплуатационный режим а) Схема нагружения; б) Скорость изменения параметра а в процессе испытаний; в) Схема пересчёта результатов испытаний на 1-й эксплуатационный режим методом «вытягивания площадей»

После установки станка на испытания осуществляется контроль показателей технического состояния и обкатка станка на холстом ходу и под нагрузкой в диапазоне возможных эксплуатационных режимов. Продолжительность приработки (обкатки)  $\Delta t_0$  может определяться по стабилизации таких параметров, как амплитуда вибраций, уровень звукового давления, температурный режим узлов трения и др.

Первый цикл испытаний  $T_{ц1}$  начинается в момент времени  $t_0$  после окончания периода приработки. В момент времени  $t_0$  после приработки на станке выполняется обработка заготовок на каждом  $i$ -ом типовом и форсированном режиме (с необходимым количеством  $K$  дублированных опытов) и для каждого выходного параметра технического состояния станка определяется его среднее значение  $a_i(t_0)$  и среднее квадратическое отклонение  $S_i(t_0)$ .

Полученные значения параметров характеризуют начальное техническое состояние станка.

После этого начинается первый этап испытаний. С помощью нагрузочно-имитирующего устройства воспроизводится первый типовой режим нагружения. Продолжительность испытаний  $\Delta t_{11}$  определяется из условия достижения накопленной величины приращения параметра.

Если в процессе испытаний контролируется трансформация нескольких параметров технического состояния станка, продолжительность испытаний  $\Delta t_{11}$  будет зависеть как от скорости их изменения, так и от абсолютной погрешности их оценки. В момент времени  $t_{11}$  испытания приостанавливаются и выполняются измерения параметров технического состояния станка, в том числе и при обработке.

Затем на втором этапе испытаний воспроизводится второй режим нагружения, при этом основные характеристики процесса трансформации параметров технического состояния станка –  $\Delta t_{12}$ ,  $\Delta a_{12}$ ,  $\Delta S_{12}$ ,  $\gamma_{a12}$ ,  $\gamma_{S12}$  определяются так же, как и на предыдущем этапе.

Аналогично могут быть определены значения  $\Delta t_{1i}$ ,  $\Delta a_{1i}$ ,  $\Delta S_{1i}$ ,  $\gamma_{a1i}$ ,  $\gamma_{S1i}$  параметров технического состояния станка для каждого  $i$  типового режима испытаний на первом цикле испытаний  $T_{ц1}$ .

Скорость изменения параметра на  $i$ -м режиме  $j$ -го цикла испытаний

$$\gamma_{ji} = \Delta a_{ji} / \Delta t_{ji}, \quad (1)$$

где  $a_{ji}$  – приращение параметра на  $j$ -м цикле  $i$ -го режима нагружения.

Продолжительность каждого этапа испытаний  $t_{ji}$  определяется точностью оценки накопленного изменения параметра для любого  $i$ -го режима нагружения.

Затем выполняется форсированное нагружение станка. Продолжительность этапа форсированных испытаний  $\Delta t_{13}$  должна быть максимально возможной для увеличения выработки ресурса станка. Ограничение по времени определяется только продолжительностью общего периода отводимого на проведение сертификационных испытаний. Это позволяет в течение более длительного времени экспериментально проконтролировать закономерности изменения параметров и в результате сделать более точным последующий этап прогнозирования.

Таким образом, продолжительность первого цикла испытаний  $T_{ц1}$  составит

$$\dot{O}_{oi} = \Delta t_{11} + \Delta t_{12} + \Delta t_{13} = \sum_{i=1}^n \Delta t_{1i}. \quad (2)$$

В момент времени  $T_{ц1}$  после окончания первого цикла испытаний на станке выполняется обработка заготовок на каждом  $i$ -ом типовом и форсированном режиме (с необходимым количеством  $K$  дублированных опытов) и для каждого выходного параметра технического состояния станка определяется его среднее значение  $a_{1i}$  и среднее квадратическое отклонение  $S_{1i}$ .

Для более точного прогнозирования контролируемых параметров необходим второй цикл испытаний  $T_{ц2}$ , который также состоит из нескольких этапов испытаний. Содержание испытаний, чередование этапов и перечень работ по контролю параметров безопасности, технического уровня и техни-

ческого состояния на втором цикле испытаний полностью аналогичен первому циклу.

Общая наработка в испытаниях состоит из суммы  $j$ -го количества циклов

$$\begin{aligned} \dot{O} &= \Delta t_0 + T_{\dot{o}1} + T_{\dot{o}2} \dots + T_{\dot{o}j} = \\ &= \Delta t_0 + \sum_{i=1}^n \Delta t_{1i} + \sum_{i=1}^n \Delta t_{2i} \dots + \sum_{i=1}^n \Delta t_{ji}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Delta t_0$  – время приработки.

По завершении  $j$ -го цикла испытаний выполняется регулирование, и после этого контролируются параметры технического состояния станка.

Пересчет времени наработки  $T$  на один из типовых режимов нагружения  $t_{исп.i}$  выполняется методом «вытягивания площадей» по известным из эксперимента значениям скоростей изменения параметра  $\gamma_{ji}$  на каждом типовом режиме (рис. 2).

В качестве примера приведём пересчет времени наработки в испытаниях методом «вытягивания площадей» на 1-й типовой режим нагружения. Нарботка  $t_{исп.1}$  составит сумму пересчитанных наработок

$$\begin{aligned} t_{\dot{o}и1} &= \Delta t_0 + \dot{O}_{\dot{o}1y} + \dot{O}_{\dot{o}2y} \dots + \dot{O}_{\dot{o}jy} = \\ &= \Delta t_0 + (\Delta t_{11} + \Delta t_{12} + \dots + \Delta t'_{1i}) + \\ &+ (\Delta t_{21} + \Delta t'_{22} + \dots + \Delta t'_{2i}) + \dots + \\ &+ (\Delta t_{j1} + \Delta t'_{j2} + \dots + \Delta t'_{ji}) \end{aligned} \quad (4)$$

тогда, для первого режима первого цикла испытаний

$$\begin{aligned} T_{\dot{o}1y} &= \Delta t_{11} + \Delta t'_{12} + \dots + \Delta t'_{1i} = \\ &= \Delta t_{11} + \frac{1}{\gamma_{11}} \left[ \int_{t_{11}}^{t_{12}} \gamma_{12} dt + \int_{t_{12}}^{t_{13}} \gamma_{13} dt + \dots + \int_{t_{1i-1}}^{t_{1i}} \gamma_{1i} dt \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Так же, зная для конкретного станка диапазон режимов нагружения и вероятность реализации  $p_i$  любого  $i$  из  $n$  эксплуатационных режимов  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$  за некоторое время эксплуатации станка и скорость изменения параметра на каждом из  $n$  режимов в испытаниях, выполняем пересчет результатов испытаний на наработку для обобщенного режима.

Расчет наработки станка при сочетании нескольких режимов выполняется по

найденным в ходе испытаний скоростям изменения параметра и наработкам на каждом из типовых режимов, а также вероятности реализации каждого режима  $p_i$ .

Например, для случая, представленного на рис. 2, пересчитанная наработка станка на обобщенный режим эксплуатации составит

$$\begin{aligned} t_{\dot{o}и1} &= \Delta t_0 + \frac{\gamma_{11} \cdot \Delta t_{11} + \gamma_{12} \cdot \Delta t_{12} + \gamma_{13} \cdot \Delta t_{13}}{p_1 \cdot \gamma_{11} + p_2 \cdot \gamma_{12} + p_3 \cdot \gamma_{13}} + \\ &+ \frac{\gamma_{21} \cdot \Delta t_{21} + \gamma_{22} \cdot \Delta t_{22} + \gamma_{23} \cdot \Delta t_{23}}{p_1 \cdot \gamma_{21} + p_2 \cdot \gamma_{22} + p_3 \cdot \gamma_{23}}. \end{aligned} \quad (6)$$

В общем виде для сочетания  $i$  режимов

$$\begin{aligned} t_{\dot{o}иi} &= \Delta t_0 + \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_{1i} \cdot \Delta t_{1i})}{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot \gamma_{1i})} + \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_{2i} \cdot \Delta t_{2i})}{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot \gamma_{2i})} + \\ &+ \dots + \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_{ji} \cdot \Delta t_{ji})}{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot \gamma_{ji})}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $p_i$  – вероятность реализации  $i$ -го режима;  $\gamma_{ji}$  – скорость изменения параметра  $a$  на  $i$ -м режиме при  $j$ -м цикле испытаний.

При этом исходим из условия, что

$$\sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1. \quad (8)$$

Сертификационные испытания позволяют получить данные о начальных значениях параметров станка, закономерности изменения параметров станка по наработке и данные о величинах параметров после регулирования. Таким образом, представляется возможным, используя модель параметрической надежности, рассчитать ресурс станка по параметрам безопасности и качества функционирования.

### Библиографический список

1. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Амалицкий В.В., Бондарь В.Г., Волобаев А.М., Воякин А.С. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: Учебник для студентов лесотехнических вузов. – М.: МГУЛ, 1998. – 288 с.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИКЛАДНОЙ КВАЛИМЕТРИИ

В.И. ЛЮБЧЕНКО, проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, почетный работник высшего профессионального образования России

*Удивительно, что даже спички бывают плохие и хорошие.  
Сергей Довлатов. Записные книжки*

Если наблюдение писателя не воспринимать в широком смысле, а спичками и ограничиться, то удивляться не приходится: спички еще как могут быть плохими! То каждая вторая ломается при попытке чиркнуть ею по коробку, то, зашипев и выпустив облако дыма, она так и не загорится пламенем; либо, выполнив свою роль, еще долго продолжает тлеть, создавая потенциальную угрозу пожара... Разумеется, хорошие спички совсем другие: они полностью пригодны к тому, чтобы удовлетворять наши потребности в них для использования по назначению. Называя спички хорошими или плохими, мы ведем речь о качестве продукции.

Понятие качества может распространяться не только на готовую продукцию, но и на полуфабрикаты (например, лущеный шпон, который предназначен для переработки в спичечную соломку – древесинную основу спички). Идя дальше, мы можем говорить о качестве выполнения технологической операции, в которой создается полуфабрикат (в том же примере – о качестве процесса лущения шпона на станке). И если мы умеем количественно (числом) оценить это качество, то, значит, мы сможем создать в станке условия, при которых это качество будет наилучшим (другими словами, установить оптимальный режим операции лущения).

В практической деревообработке резанием показателями качества выступают параметры геометрии обработанной поверхности, глубина поверхностного слоя заготовки с остаточными деформациями и скры-

тыми разрушениями, характеристики стружки-продукта (в тех процессах, где получение стружки является целью).

Обработанная поверхность номинальная – это геометрическая поверхность, заданная чертежом (рис. А). Реальной обработанной поверхности (рис. В), в отличие от номинальной, присущи отклонения от заданной формы и неровности профиля в виде чередующихся выступов и впадин. Отклонения от заданной формы характеризуют точность обработки на станке; на точность влияют факторы, относящиеся к режущему инструменту и станку в целом. Неровности профиля обработанной поверхности, повторяющиеся с малым шагом, определяют шероховатость поверхности; шероховатость зависит, прежде всего, от параметров процесса резания.

Задача обеспечения надлежащей точности обработки на станке решается соответствующими мерами (правильной размерной настройкой, поддержанием геометрических погрешностей станков и жесткости их элементов в нормативных пределах, устранением негативных производственных факторов). Если это сделано, то характеристиками обработанной поверхности остаются только параметры шероховатости. Таких параметров установлено несколько, но практически в деревообработке (и в справочной литературе) используется один – среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей на оцениваемой поверхности  $R_{m\max}$  (на рис. В показаны отдельные наибольшие неровности высотой  $H1...H5$ )

$$R_{m \max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max i},$$

где  $H_{\max i}$  – расстояние от высшей до низшей точки  $i$ -й наибольшей неровности;  
 $n$  – число наибольших неровностей (не менее 5).

К сожалению, все еще остается нерегламентированным такой важный показатель качества обработки поверхностей, как *глубина  $t'$  поверхностного слоя с остаточными деформациями и скрытыми разрушениями (внутренними трещинами)*, образованными при резании. Невнимание к этому показателю и неумение оценивать его численно может оборачиваться для производителя значительными издержками: покупатель продукции, к примеру, пиломатериалов, ссылаясь на необходимость при последующей обработке удалять *дефектный слой* (естественно, завышая его действительную толщину!) получает возможность требовать увеличения технологических припусков на обработку (увеличения сечений пиломатериалов) либо существенного снижения цены.

В процессах резания, где целью является получение стружки-полуфабриката – строганого и лущеного шпона, технологической стружки и щепы, – число показателей качества возрастает, методы их оценки усложняются. Условимся, что *показатели качества* шпона – это количественные характеристики тех свойств шпона, которые имеют важное значение для его использования.

Так, для строганого шпона из ценных пород древесины, идущего на облицовывание поверхностей изделий, таких отдельных, *единичных* показателей качества набирается несколько групп. Это показатели, зависящие от пороков исходного сырья (сучки и приравненные к ним пороки, окраски грибные и химические, пороки строения древесины, трещины). Показатели, связанные преимущественно с режимом резания на шпонострогальном станке (см. рис. *C* и *D*): отклонение размера шпона по толщине, или разнотолщинность  $\Delta a = a_{\max} - a_{\min}$ , где  $a_{\max}$  и  $a_{\min}$

– наибольшая и наименьшая толщина шпона на площади листа; прочность шпона в направлении поперек волокон  $\sigma_{в.р.п.}$ , прочность шпона в направлении вдоль волокон  $\sigma_{в.р.д.}$ , шероховатость лицевой поверхности  $R_{m \max (л)}$ , то же, обратной поверхности  $R_{m \max (об)}$ ; наличие и величина рисок и царапин  $P$ .

Наконец, показатели, зависящие от режима сушки (влажность, волнистость, трещины усушки). На практике для оценки качества продукции обычно выбирают один или несколько единичных показателей и, сравнивая их с эталонными величинами, устанавливают пригодность продукции, либо уровень ее качества (сорт). Скажем, качество строганого шпона согласно действующему стандарту определяют по внешнему виду и размерам, влажности, шероховатости и волнистости...

Строго говоря, проблема оценки качества обработки резанием древесины и древесных материалов относится к *квалиметрии* – науке о количественном измерении качества, точнее – к *прикладной квалиметрии*, конкретные разработки которой доставляют математические модели *комплексных показателей качества*, оценивающих качество объекта сразу по совокупности единичных показателей. (Считается, будто в свое время американцы «придумали» квалиметрию для оценки качества «более серьезных объектов», чем изделия из древесины).

Действительно, легко заметить, что использование только единичных показателей качества недостаточно, чтобы сравнить, например, качество двух партий строганого шпона, полученных при разных режимах строгания. Если у шпона в партии I шероховатость поверхностей меньше (гладкость – выше!), чем в партии II; но разнотолщинность (отклонения размера по толщине на площади листа) больше, ответить на вопрос, какой шпон лучше (и, следовательно, какой режим резания предпочтительнее), невозможно.

Для однозначного ответа на вопрос, какой шпон лучше, необходим комплексный показатель качества, учитывающий совокупность единичных показателей (в нашем



простейшем примере – двух: шероховатости и разнотолщинности).

В принципе комплексный показатель качества  $P_k$  может учитывать полную совокупность единичных показателей (для шпона они перечислены выше). Но для частной задачи, например, оценки качества обработки резанием, можно ограничиться набором единичных показателей, отражающих влияние только этой стадии технологического процесса. В нашем примере комплексный показатель качества шпона «на стадии резания»  $P_k$  может быть установлен исходя из единичных показателей: прочности шпона на растяжение поперек волокон  $\sigma_{в\ p.п.}$  и вдоль волокон  $\sigma_{в\ p.д.}$ , шероховатости  $R_{m\ max\ (л)}$  лицевой стороны и  $R_{m\ max\ (об)}$  оборотной стороны шпона, разнотолщинности  $\Delta a$ , величины царапин и риск  $P$ . Остается составить модель комплексного показателя качества, «сочинить» формулу для его вычисления.

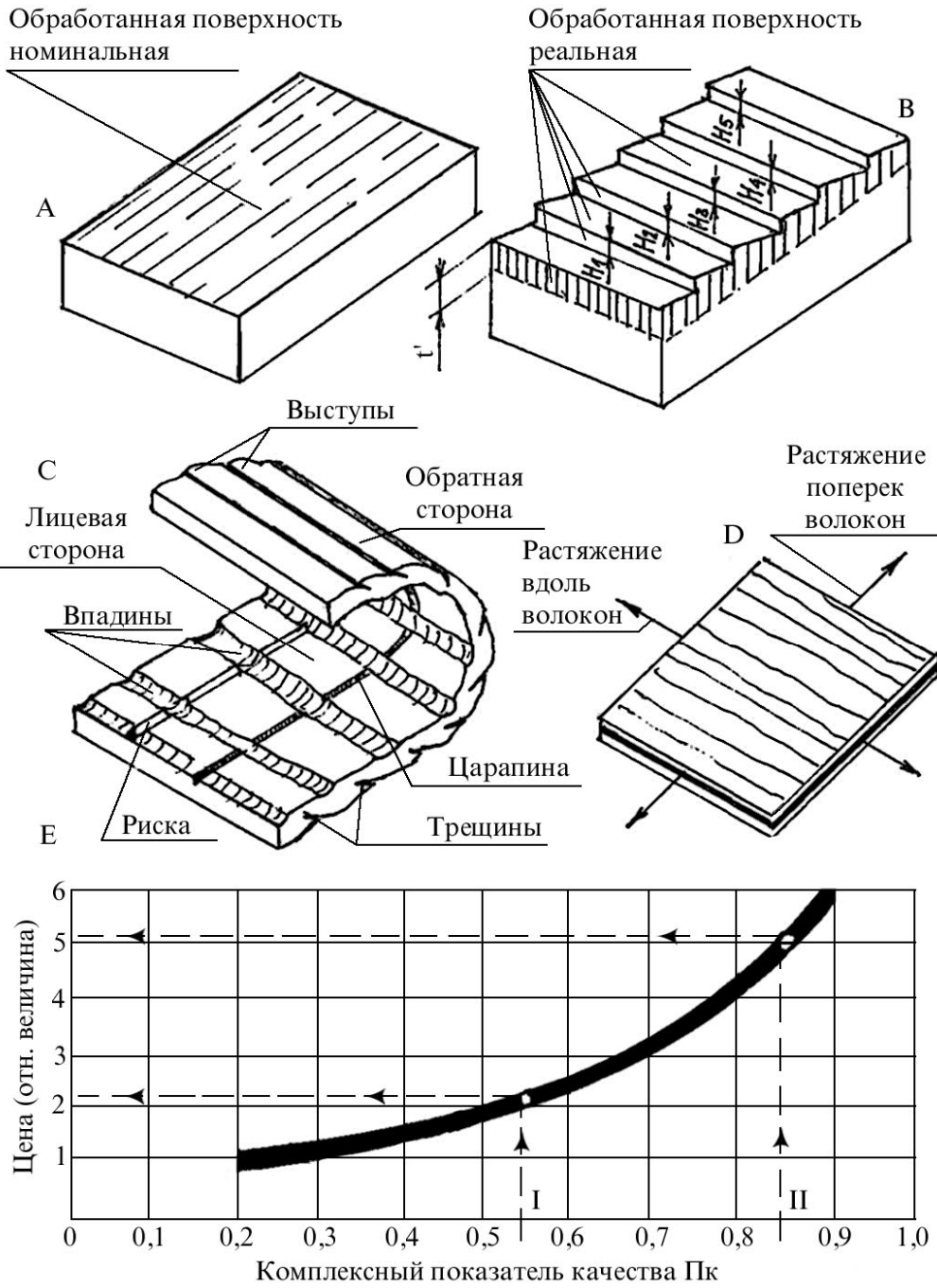
Чтобы модель была адекватной, то есть предоставляющей реальную оценку качества конкретного вида продукции (или стадии технологии), она должна включать все *основные* единичные показатели качества. При этом *натуральные показатели* единичных свойств качества (числа, со своими размерностями) должны быть переведены в *показатели относительные* (с общей для всех размерностью). Обязательным условием объективности комплексной оценки качества является учет реальной *весомости* (важности вклада в комплексный показатель) отдельных свойств качества. Сама математическая модель комплексного показателя качества в итоге представляется как некоторая функция совокупности единичных показателей качества с учетом их весомостей. В простейшем случае – это сумма произведений коэффициента весомости  $m_i$  на относительное значение  $k_i$  по каждому из  $n$  учитываемых единичных показателей качества

$$P_k = \sum_{i=1}^n m_i \cdot k_i.$$

Не будем далее углубляться в методические подробности процедур моделирования комплексного показателя качества, но завершим начатое рассмотрение конкретного примера из опыта исследований кафедры станков и инструментов МЛТИ (В.И. Любченко, П.С. Самородский). Были получены математические модели комплексного показателя качества строганого шпона для облицовывания изделий и лущеного шпона для производства фанеры. Модели позволяли оценивать качество по полной совокупности единичных показателей качества (набралось 12 таких показателей) или по группе показателей, относящихся к стадии резания древесины на шпон (6 показателей).

Посмотрим на «укороченную» модель комплексного показателя качества строганого шпона, учитывающую только единичные показатели *качества резания*. На основании представительных экспертных оценок (*конечно, лучше было бы сделать это на основании технико-экономических расчетов; но это совсем не просто!*) были установлены следующие весомости единичных показателей качества: разнотолщинности шпона – 0,200; прочности в направлении поперек волокон – 0,113; прочности в направлении вдоль волокон – 0,078; шероховатости лицевой поверхности – 0,264; шероховатости оборотной поверхности – 0,123; царапин и риск – 0,222 (Сумма коэффициентов весомости всех учитываемых единичных показателей равна единице). Относительные значения показателей качества определялись как отношения абсолютных показателей, измеренных в натуральных единицах или оцененных в баллах, к показателям качества, принятым за базу (эталон). Окончательно математическая модель комплексного показателя приобрела вид несложной расчетной формулы:

$$P_k = (282 \sigma_{в\ p.п.} + 17,20 \sigma_{в\ p.д.} - 5,28 R_{m\ max\ (л)} - 1,64 R_{m\ max\ (об)} - 133,2 \Delta a + 444 P) \cdot 10^{-4} + 0,6182.$$



Рисунок

Если в формулу подставить наилучшие (эталонные) единичные показатели качества шпона, получим наибольшее значение комплексного показателя  $P_k = 1$ . При подстановке худших (но допускаемых техническими условиями) единичных показателей величина  $P_k$  принимает минимальное значение 0,2. (В принципе в модели может быть установлен любой диапазон измене-

ния комплексного показателя, но считать «ноль» нижней границей качества нелогично: качество – самое низкое, но все-таки допускаемое условиями потребления продукции).

Итак, мы в достаточной степени уверены, что наша модель адекватно отражает действительное качество шпона, предназначенного для облицовывания изделий из

древесины. Что дает комплексный показатель качества? *Во-первых*, он однозначно, числом оценивает качество шпона по совокупности важнейших показателей, то есть позволяет *обоснованно делать выбор* продукта. *Во-вторых*, если связать комплексный показатель качества с ценовой шкалой градаций качества, появляется возможность *обоснованно назначать (или предлагать) цену* продукта (рис. Е). *В-третьих*, используя комплексный показатель качества в качестве критерия, можно *оптимизировать технологический процесс* (в нашем примере – режим строгания на шпонострогальном станке) или обоснованно *прогнозировать экономический эффект* от планируемых мероприятий по управлению качеством продукции. *В-четвертых*, возможность использовать комплексный показатель качества в рекламных целях...

И в заключение немного фантазии. Прикладная квалиметрия *может всё*, стоит только изучить ее принципы и методы да уделить пристальное внимание разработке моделей комплексных показателей качества для конкретных видов продукции, допустим, конструкций дереворежущего инстру-

мента. С такими математическими моделями вас не смутит проблема выбора из бесчисленных каталогов фирм-производителей и прайс-листов торговых компаний. Если вам нужна самая лучшая *фреза хвостовая для обработки заготовок по контуру*, то, отыскав в документации технические данные для нескольких наиболее интересных вариантов конструкции и нажав несколько компьютерных клавиш, вы получаете численные показатели качества для каждого из вариантов и приемлемую цену. ...Правда, пока в этой идиллической картинке остается крайне уязвимой часть предложения: *«отыскав в документации технические данные»*. Такие данные, как правило, не приводятся, и это объяснимо. Но означает это только то, что в задачи прикладной квалиметрии входит и *разработка методов и приборов* для оперативного получения нужных данных о продукте. Желательно, чтобы это были экспресс-методы и достаточно универсальные приборы.

*Вам не показалась прикладная квалиметрия интересной для деревообрабочика?*

## ИЗ ИСТОРИИ ГРУППЫ НАДЕЖНОСТИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.С. ВОЯКИН, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, канд. техн. наук

**М**не в большой степени повезло: из потока студентов-вечерников технологов была сформирована первая группа механиков, тяготеющая к своей выпускающей кафедре – кафедре станков и инструментов. Так я оказался в числе первых выпускников ФАДа по специальности инженер-механик. Темой моего дипломного проекта была разработка стенда для ускоренных испытаний односторонних шипорезных станков с подробной проработкой комплекса измерительной и регистрирующей аппаратуры, поскольку по роду своей работы на предприятии я был на «ты» с измерительной техни-

кой. Тема не была случайной: занимаясь под руководством доцента В.В. Амалицкого в научном студенческом обществе на кафедре станков и инструментов, мы вместе в то время еще с Володей Бондарем принимали участие в НИР с Московским заводом дереворежущих станков и автоматических линий по исследованиям надежности станков шипорезной группы, выпускавшихся этим предприятием.

После защиты дипломных проектов мы с В.Г. Бондарем были рекомендованы в аспирантуру и приглашены на работу в научно-исследовательский сектор кафедры

станков и инструментов в группу изучения вопросов надежности деревообрабатывающего оборудования, или как ее в последствии стали называть – группу надежности. До нас здесь уже трудились под руководством доцента В.В.Амалицкого будущий профессор, а тогда ассистент кафедры А.М. Волобаев, доцент Л.Г. Кутуков и старший научный сотрудник И.Я. Нуллер, которого мы любя звали папа Еся. Он был старше нас, гораздо эрудированнее и опытнее, являлся хорошим конструктором – расчетчиком и учил нас уму – разуму.

Первой моей практической работой в группе (после дипломного стенда для шипорезных станков) было создание совместно с А.М. Волобаевым стенда для испытаний на надежность сверлильно-пазовальных станков на примере станка СВПА-2 производства Днепропетровского станкозавода.

В соответствии с идеологией, предложенной В.В. Амалицким, в наших стендах при испытаниях на надежность исключалось натурное резание древесины, а спектр сил, действующих на узлы станка в процессе его эксплуатации, воспроизводился с помощью специально разработанных оригинальных конструкций нагрузочно-имитирующих устройств. Работы по этой тематике только разворачивались, требовалась материальная база для проведения исследований: разрабатывались и создавались экспериментальные установки для изучения надежности как отдельных узлов, так и деревообрабатывающих станков в целом. Моей задачей являлось оснащение стендов современной по тем временам датчиковой, усилительной и регистрирующей аппаратурой, так как обучаясь на вечернем отделении института я уже работал инженером по измерениям на одном из предприятий г. Королева. Используя связи с измерениями ряда заводов, нам удалось приобрести новую аппаратуру, поднять уровень работ за счет расширения спектра измеряемых параметров, точности и достоверности измерений.

Поскольку это направление исследований в деревообрабатывающем станко-

строении являлось новым, многие разработки группы надежности признавались патентноспособными и были защищены рядом авторских свидетельств на изобретения СССР, а мы с А.М. Волобаевым не раз признавались лучшими изобретателями института.

Результаты исследований по надежности деревообрабатывающего оборудования, конструкции нагрузочно-имитирующих устройств и стендов на их базе трижды экспонировались на ВДНХ СССР в павильоне «Лесная промышленность», а разработчики были награждены медалями, дипломами и почетными грамотами выставки. В моем архиве до сих пор хранятся удостоверения участника выставки и две бронзовые медали ВДНХ. Душой подобных мероприятий являлся Алексей Михайлович Волобаев, наш эстет, оформлявший экспозиции и разрабатывавший макеты проспектов.

Еще я отметил бы дух коллективизма, царивший в группе: при необходимости могли навалиться всем «миром» на решение какой-то конкретной задачи, какого-то узкого места, – независимо от того, по какой теме ты был ответственным исполнителем. Смотришь, появляются какие-то идеи, а далее – и реальные конструкции и методики. Мне, например, довелось разрабатывать в то время конструкции измерительной и регистрирующей части практически всех испытательных стендов.

Следует отметить, что 70–80-е годы прошлого века на кафедре станков и инструментов были достаточно плодотворны в научно-исследовательской работе. На кафедре ежегодно выполнялось не менее 5–6 научно-исследовательских тем, существовала большая группа (около двух десятков) штатных сотрудников НИС, имевших собственное большое помещение. Спектр работ был достаточно широк: от изучения новых технологических процессов резания, совершенствования конструкций дереворежущего оборудования и инструмента до автоматизации производства. Вполне логичным для тематики работ кафедры было по-

явление исследований по методам и средствам испытаний оборудования на надежность.

В те времена приходилось более половины времени проводить в командировках, собирая данные эксплуатационных наблюдений, проводя испытания на станкозаводах и деревообрабатывающих предприятиях. Днепропетровск и Ставрополь, Ульяновск и Боровичи, Курган и Кострома, Нальчик и Ярославль... Заодно и страну довелось посмотреть. Для меня родными стали города Днепропетровск и Боровичи, станкозаводы которых выпускали фрезерные и продольно-фрезерные четырехсторонние станки, поскольку тема моей диссертационной работы была посвящена исследованиям надежности и разработке методов и средств ускоренных испытаний на надежность фрезерных шпиндельных узлов.

Многие из прошедших через группу надежности успешно защитили диссертации. Одни из них продолжают работать в университете, но уже вне кафедры: например, профессор А.М. Волобаев, заведующий кафедрой мировой культуры; В.И. Игнатов – доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта; доцент А.П. Чувашев – проректор МГУЛ; доцент А.В. Сиротов – председатель профкома университета. Другие, среди них В.Ю. Сергачев, В.В. Рябов, Н. Палеева, В.Ю. Очеретяный, И.В. Курдюков, Н.Г. Серегин, В.Н. Булгаков, успешно продолжают работу в промышленности.

В нашей группе, как в последствии оказалось, были подготовлены специалисты высшей квалификации и для ближайшего зарубежья: О.Г. Адеишвили и Ф.С. Саралидзе.

Большую и неоценимую техническую помощь в оформлении отчетов, плакатов, а также моральную поддержку оказывали всем нам в работе З.К. Крючкова и Г.В. Кутепова, к сожалению, рано ушедшие из жизни.

К исследованиям по тематике надежности деревообрабатывающего оборудования привлекались и сотрудники про-

мышленности как из станкостроения, так и из деревообработки. Так, например, директор Днепропетровского станкозавода В.П. Нечаев, используя разработки кафедры, предложил и испытал конструкцию сверлильно-пазовального станка с прямым Чебышева типа СВПГ-2, который после отработки пошел в серийное производство и выпускался станкозаводом не один десяток лет.

В 70-х годах прошлого века в моде была полированная мебель, но станки полировальной группы были далеки от идеала как по конструкции, так и по надежности. На крупной мебельной фабрике в Ульяновске вопросами эксплуатационной надежности полировального оборудования занимался В.Ю. Остапенко, предложивший в своей диссертации оригинальные разработки определения и повышения надежности полировальных станков в условиях эксплуатации.

Первые итоги работы по данной тематике были обобщены В.В. Амалицким в книге «Надежность деревообрабатывающего оборудования», вышедшей в 1974 году. Это был «толстый» автореферат его будущей докторской диссертации, которую он успешно защитил в 1977 году.

Для оценки технического уровня выпускаемого оборудования станкозаводам требовалось периодическое подтверждение ряда параметров станков, в первую очередь, на соответствие «Знаку качества». Кафедрой было приложено немало усилий для оснащения производства испытательными лабораториями, имеющими материальную базу и соответствующие методики для проведения таких испытаний. Такие лаборатории в первую очередь были созданы на Ставропольском станкозаводе «Красный металлист», Днепропетровском и Боровичском станкозаводах.

Разработки группы связывались не только напрямую с оценками надежности оборудования. Так, например, Ставропольский станкозавод обратился на кафедру за помощью в проведении экспертизы по несчастному случаю. На одном из деревообраба-

тывающих предприятий заготовкой, выброшенной из рейсмусового станка, был убит человек. Для оценки возможности выброса заготовки из зоны резания в лаборатории завода при нашем участии был создан стенд, позволяющий производить разрегулировки станка в процессе обработки детали, выводя из контакта с ней отдельные элементы станка. Исследования подтвердили безопасность станка при соблюдении правил технической эксплуатации и техники безопасности. Разработка была защищена двумя авторскими свидетельствами на изобретение.

В связи с изменившейся в конце 80-х – начале 90-х годов экономической ситуацией в стране научные исследования на кафедре и в группе в значительной степени были свернуты. Однако свято место пусто не бывает. В последнее время появляются работы, продолжающие выбранную тематику, но трансформированные к новым условиям. Значительный поток импортного деревообрабатывающего оборудования в страну потребовал разработки комплексных методов сертификации этого оборудования

по целому ряду параметров, в первую очередь – безопасности. Примером такой работы является диссертация нашего молодого сотрудника – старшего преподавателя кафедры А.В. Корчатова, посвященная вопросам как обязательной, так и добровольной сертификации деревообрабатывающего оборудования. Будем надеяться, что это лишь первая ласточка в этом направлении и молодые продолжают сформировавшиеся традиции группы надежности.

За время существования группы надежности ее членами были защищены одна докторская и более двух десятков кандидатских диссертаций, опубликовано около сотни научных отчетов по данной тематике, получено более 70 авторских свидетельств на изобретения и патентов Российской Федерации.

Кого ни спроси из бывших, либо действующих членов группы надежности, у всех самые наилучшие впечатления о времени, связанном с интересной работой на кафедре. А может быть потому, что как поется в песне «...когда мы были молодыми?»

## ИЗ ИСТОРИИ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

В.Г. СУХАНОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ

**П**роблема экономного расходования сырья, материалов, разработка малоотходной и безотходной технологии является одной из основных задач в современном направлении развития экономики. В лесной и деревообрабатывающей промышленности особая и все возрастающая роль принадлежит разработке новых способов деления древесины, позволяющих уменьшить ее потери в опилки.

Поэтому тематика исследований, направленная на поиск новых технологических решений, позволяющих существенно сократить потери древесины в опилки за счет использования нового способа ее деления – виброрезания, специального инструмента и

режимов резания – является актуальной. Процесс деления материала вибрирующим инструментом называют вибрационным резанием, или виброрезанием.

Идея использования колебаний для улучшения процесса резания металлов была впервые высказана в России В.Л. Татариновым в 1910 г. На важность изучения влияния колебаний для теории и практики резания материалов указывал проф. А.И. Каширин и академик В.Д. Кузнецов. Промышленное применение вибрационного резания началось в металлообработке в 1953 г. Обобщением результатов теоретических и экспериментальных исследований резания металлов с вибрациями, выполненных в МВТУ им.

Н.Э. Баумана, явилась работа проф. В.Н. Подураева.

В конце 40-х годов идея вибрационного резания древесины была предложена С.А. Богатыревым, который реализовал ее в конструкциях ручного вибротопора и вибро-сучкорезки. В 1953 г. группой научных работников МЛТИ (проф. П.П. Аксенов, проф. С.А. Воскресенский, доц. Н.Ф. Гусев, проф. Н.В. Ефимов, проф. Ф.М. Манжос, проф. Б.А. Таубер) был предложен способ безопилочного вибрационного резания древесины посредством пластинчатого инструмента. На этот способ в 1955 г. было получено авторское свидетельство. Исследования вибрационного деления древесины проводилось в Московском, Львовском и Поволжском лесотехнических вузах, с 1961 года подобные исследования проводились во многих странах. Известны работы Г. Филипова в Болгарии, исследования вибрационного резания древесины в Японии, США, Канаде и др. странах.

Начиная с 60-х годов появилось много патентов на различные разновидности применения метода вибрационного резания древесины и оборудование для его осуществления. Появились сообщения о создании полупромышленных и серийных образцов машин для вибрационного резания в СССР, ЧССР и др. странах. Первое экспериментальное исследование вибрационного резания древесины в МЛТИ было проведено в 1953–1954 гг. на машине МБД-1 (машина для бесстружечного деления), в которой режущий инструмент закреплялся наклонно, механизм резания приводился в движение инерционными вибраторами. Условия проведения опытов: порода – сосна, ель; древесина – воздушно – сухая; высота реза от 10 до 40 мм; толщина полосового инструмента – 0,5, 0,8 мм; угол заострения –  $30^{\circ}$ , форма лезвия – прямолинейная; наклон ножа  $40^{\circ}$ ; направление резания – продольное, поперечное, торцовое, угловое.

Результаты исследования процесса резания на этой виброустановке показали: деление древесины при торцовом резании и под углом к волокнам обеспечивает качест-

венную и ровную поверхность; при продольном делении наблюдается увод по волокнам и раскалывание, особенно у непрямолинейной древесины.

Предварительные исследования вибрационного метода деления древесины позволили Ф.М. Манжосу в 1955 году предложить различные схемы приемов вибрационной обработки древесины. Вопрос о превращении сухого трения в вязкое под влиянием вибраций был рассмотрен доц. Н.Ф. Гусевым и проф. В.В. Андроновым.

Дальнейшие опыты по безопилочному резанию древесины (1958 – 1962 гг.) проводились под руководством проф. С.А. Воскресенского на экспериментальной установке «РЭП» со специальным вибрирующим столом, совершающим колебательное движение от эксцентрикового вибратора. Вибросистема установки позволяла настраивать ее на продольные, поперечные и на любое промежуточное направление вибраций по отношению к направлению подачи. Установка была оборудована измерительной системой для осциллографирования усилий взаимодействия режущего инструмента с древесиной.

В результате проведения этих опытов были получены данные о влиянии на качество поверхности резания, прогиб режущего инструмента, мощность резания и силу подачи следующих факторов: угла подачи, толщины и ширины режущего инструмента, породы древесины, скорости подачи, толщины стружки.

Опыты на установке «РЭП» позволили получить экспериментальный материал по безопилочному резанию древесины на малых образцах (высота реза до 12 мм) и разработать некоторые вопросы теории безопилочного вибрационного резания древесины.

В это же время в МЛТИ проводились эксперименты еще на двух виброустановках: «МЛТИ-2» и на универсальной виброустановке «УНИВИР».

Экспериментальная установка «МЛТИ-2» была создана в 1957 году. Источником вибраций рамки с натянутыми и

закрепленными тонкими ножами служили два строительных выбратора типа И-116 с частотой колебаний 167 Гц.

В июне-июле 1959 г. и в течение 3-х месяцев 1960 г. эта установка демонстрировалась на Выставке достижений народного хозяйства СССР в г. Москве.

С 1958 по 1961 г. на экспериментальной установке МЛТИ-2 были продолжены исследования процесса безопилочного вибрационного резания древесины. На основании этих опытов были сделаны следующие выводы: при резании древесины вдоль волокон на режущий инструмент действуют неуравновешанные боковые усилия, обусловленные строением древесины и фактической непараллельностью плоскости резания направлению волокон; при симметричной заточке переднего режущего края инструмента неуравновешанные силы оказывают вредное воздействие на образец, вызывая смещение плоскости реза и продольную кривизну реза; при повышении скорости подачи с 3 м/мин до 10 м/мин увеличивается поперечная кривизна реза, ухудшается качество поверхности.

Однако даже при скорости подачи – 10 м/мин (что при частоте вибраций 167 Гц соответствует подаче на цикл 1 мм), можно добиться, чтобы кривизна реза была не более 0,5...0,7 мм на высоте реза до 20 мм. При этом качество поверхности получается в пределах

$$Rm_{\max} = 60...200 \text{ мкм.}$$

Экспериментальные исследования на этой установке послужили дополнением к исследованиям МЛТИ, проведенным на виброустановке «РЭП».

Эксперименты по безопилочному вибрационному резанию древесины на образцах больших сечений проводились автором этой статьи на универсальной установке «УНИВИР».

На экспериментальной установке УНИВИР проводились исследования на образцах с высотой реза от 30 до 200 мм. Опыты по безопилочному резанию проводились полосовым инструментом толщиной 0,6...1,0 мм с углом заострения лезвия 30°.

Резанию подвергались: натуральная древесина сухая и влажная, пробковые плиты и пенопласты различных марок.

Опыты показали, что безопилочное вибрационное деление пенопластов не встречает затруднений (рез точный с высоким качеством поверхности); в любом направлении можно отрезать слой любой толщины.

Деление пробковых плит также может осуществляться полосовым вибрирующим инструментом с углом заострения лезвия 30°. При отрезании тонких слоев пробки заметно стремление к прогибу режущего инструмента в сторону отрезаемого слоя.

Подобное явление наблюдалось и при безопилочном резании древесины с высотой реза до 12 мм на установке РЭП. Более подробные сведения о разности давлений на фаски и грани (поверхности полотна) приведены в отчетах кафедры станков и инструментов по теме 102 за 1958–1960 гг. и в работах С.А. Воскресенского.

При продольном делении образцов с высотой реза 100 мм вибрирующим инструментом, имеющим угол заострения лезвия 30°, получить направленного реза на установке УНИВИР не удалось.

Опыты по вибрационному резанию древесины в Львовском лесотехническом институте (ЛЛТИ) проводились с 1954 по 1957 г. Д.И. Шилькрутом и В.А. Смирновым на небольшом электромагнитном вибраторе мощностью 150 Вт. Вибратор имел частоту 100 Гц при амплитуде до двух миллиметров. Инструменту сообщалось продольное колебательное движение. Для осуществления прямолинейного резания в качестве инструмента был взят нож с малым углом заострения, изготовленный из лезвия опасной бритвы. Таким инструментом было проведено безопилочное резание трехслойной, пятислойной и семислойной фанеры, выполнено разрезание буковых и сосновых образцов поперек волокон. При этом поверхность разреза получилась весьма гладкой, как бы полированной. Кроме ножа в качестве инструмента использовалась тонкая стальная струна. С помощью струны было осуществлено



разрезание вдоль волокон буковых и сосновых дощечек толщиной в 2...3 мм.

В 1957 г. в ЛЛТИ были проведены эксперименты по делению образцов вибрирующими ножами с высотой реза 40...50 мм. Условия опытов характеризовались подачей со скоростью 3...12 м/мин и боковым обжимом, углом заострения ножа  $10^0$ , колебаниями с частотой 40...100 Гц и амплитудой 0,5...1,2 мм. При этих условиях было получено устойчивое направленное деление древесины с удовлетворительным качеством обработанной поверхности.

В Поволжском лесотехническом институте Р.Ш. Бакиевым были проведены опыты по вибрационному резанию в торец образцов из древесины ели, сосны и березы в свежесрубленном и воздушно-сухом состоянии на специальной установке с эксцентриковым вибратором.

В экспериментах частоты вибраций инструмента были 24, 39, 74 Гц, амплитуды: 1, 2, 3, и 4 мм, размеры ножей: толщина – 1, 2, 3, 4, 4,5 мм и ширина – 30 мм; угол заострения лезвия –  $40^0$ . Инструмент колебался в направлении подачи (продольные вибрации). Высота реза – 20 мм.

На основании этих опытов были получены зависимости усилия надвигания и резания от частоты, амплитуды вибраций, влажности и породы древесины, толщины и формы ножа.

Рассмотренные материалы позволили сделать вывод, что виброрезание является перспективным способом деления изотропных материалов. Для продольного деления древесины – анизотропного материала, обладающего ярко выраженной волокнистой структурой, данный способ оказывается эффективным только при малых толщинах материала, не превышающих 20 мм.

Попытки получить направленное продольное деление древесины вибрирующими ножами не дали положительных результатов, так как при высотах реза свыше 20 мм происходит расслоение древесины. Указанное явление приводит к образованию опережающей трещины и уводу инструмента в направлении этой трещины.

Явление расслоения при продольном делении древесины тонкими ножами впервые наблюдал проф. Ф.М. Манжос.

Проф. С.А. Воскресенский, теоретически анализируя процесс деления древесины тонким полосовым инструментом, выявил условия расслоения древесины. Он вывел уравнение, связывающее между собой ширину и толщину режущего инструмента с толщиной отрезаемой дощечки, при учете прочностных характеристик древесины.

Уводу и одностороннему прогибу тонкого инструмента, кроме расслоения, способствует неуравновешанное давление древесины на фаски заостренного лезвия и полотна. Со стороны массива давление больше, чем со стороны отрезаемой дощечки.

Исследуя процессы вибрационного резания (вibroделение и вибрационное строгание), автор статьи определил частоту вибрационной обработки. По теоретическим исследованиям для древесины с конкретными свойствами оптимальная частота вибрационного деления должна быть около 2000 Гц. В зависимости от конкретных условий обработки при вибрострогании для качественного изменения процесса стружкообразования частота возбуждаемых продольных колебаний должна быть в пределах 25–1600 Гц.

Стремление максимально использовать резервы существующих способов пиления древесины тонкими пилами и устранить непреодолимые трудности вибрационного резания привело автора к выдвижению гипотезы об эффективности нового малоотходного способа продольного деления древесины специальным тонким полосовым инструментом, совершающим вибрационное движение.

В целях уменьшения расслоения и неуравновешенного давления на фаски и полотно инструмента предложено использовать конструкцию с ребристыми фасками и насечкой зубьев различных профилей на режущей кромке полосового инструмента. Это позволило перерезать волокна древесины, разрыхлять и частично удалять их перед фасками и уравновесить давление на полот-

но полосового инструмента. Продольное деление такими тонкими полосовыми инструментами позволило получить направленный рез при высотах свыше 20 мм. С другой стороны, применение вибрации при резании позволило значительно снизить силы трения полотна инструмента о стенки пропила и полностью отказаться от уширения его режущей части.

Такой процесс продольного деления древесины, предложенный автором в МЛТИ, получил название вибрационное пиление. Он представляет собой процесс продольного деления древесины тонким зубчатым полосовым инструментом, совершающим возвратно-поступательное движение относительно древесины с малым ходом и большой частотой ходов, т.е. вибрационное движение.

Этот процесс занимает промежуточное положение между обычным рамным пилением и безопилочным вибрационным резанием, но в то же время он принципиально отличается от обычного пиления и от безопилочного резания.

Резкое отличие параметров нового процесса от рамного пиления – ход 5...30 мм (у рам 200...700 мм), частота хода 1500...3000 и более в минуту (у рам 300...650 об/мин) – приводит к качественно новой картине пиления. При вибрационном пилении шаг зубьев инструмента должен оставаться меньше величины хода, вся высота пропила как бы делится на равные участки. Высота каждого из этих участков равна ходу или двойной амплитуде вибрации, а число участков равно высоте пропила, деленной на шаг, или числу режущих зубьев.

Таким образом, одному или нескольким зубьям полосового инструмента отводится на площади пропила своя продольная полоса, в пределах которой они при движении материала и срезают стружку. Благодаря вибрациям срезанная стружка может ретираться и превращаться в мельчайшую древесную пыль, часть которой выносится из пропила, а часть пристает к поверхности пропила и может быть потом удалена.

Очень важной особенностью процесса является то, что по принятой кинематике инструмент оказывает на древесину быстрое знакопеременное воздействие. Таким образом, процесс действительно является вибрационным, для которого характерно значительное уменьшение усилия подачи по сравнению с резанием при малой частоте ходов.

Процесс напоминает пиление лобзиковой пилой. Однако на лобзике, как правило, распиливаются детали малой толщины, значительно меньшей величины хода лобзика. Наоборот в новом процессе, ход инструмента меньше толщины распиливаемого материала.

Так как при вибропилении высота пропила значительно превышает ход режущего инструмента, то проблема удаления стружки из пропила здесь особенно актуальна. При вибропилении ширина разрушаемой зоны равна толщине режущего инструмента, что практически в 2,5...3 раза меньше, чем при обычном пилении. Поэтому при вибропилении стружки образуется в 2,5...3 раза меньше, а следовательно, облегчается и процесс ее удаления из пропила. При вибропилении разрушение древесины осуществляется зубьями, а стружка выносится из пропила во впадинах между зубьями и частично за счет прохода мелких стружек между полотном инструмента и боковой поверхностью пропила.

В этом случае стружка передается из одной впадины в другую при каждом двойном ходе инструмента. При этом наиболее нагруженными впадинами будут те, которые осуществляют окончательный вынос стружки из пропила. Поэтому впадины у такого инструмента должны иметь переменный объем при постоянном шаге зубьев или объем каждой впадины должен соответствовать наиболее нагруженным впадинам.

Чтобы обеспечить передачу стружки от одной впадины к другой, необходимо было подобрать соответствующую траекторию режущего инструмента, т.е. решить соответствующие вопросы кинематики вибрационного пиления. Можно предположить,

что процесс вибропиления в этом случае будет иметь ограничения по высоте пропила в связи с нарастанием объема перемещаемой стружки от зуба к зубу (увеличение напряженности впадины), что должно привести к увеличению шероховатости пропила по высоте деления (некоторая аналогия с пилением ленточным бревнопильными инструментами).

Автором была исследована кинематика главного движения резания при движении тонкого полосового инструмента по траектории эллипса, параболы, синусоиды, восьмерки с образованием и удалением срезаемой стружки из пропила либо с подрезанием стружки и ее деформацией в боковые стенки пропила.

В этом случае получается другая разновидность вибропиления, когда основная масса срезанной стружки (опилок) не удаляется из пропила. При этом режущий инструмент уплотняет срезанную стружку, и она в деформированном виде прижимается к поверхности пропила, обеспечивая дальнейшее продвижение инструмента.

Теоретический анализ условий работы режущих элементов позволил рекомендовать для экспериментального исследования три профиля.

Первый – для работы с удалением стружки из пропила, при пилении с эллиптической или синусоидальной траекториями резания, II и III – для работы инструмента по синусоидальной траектории резания без удаления опилок из пропила.

Целью экспериментального исследования явилась проверка выдвинутых теоретических положений процесса вибропиления и получение эмпирических зависимостей для выбора параметров инструмента и режимов резания. Эксперименты проводились на специально разработанных стендах по специально разработанным методикам для различных пород древесины, интервала температур от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ , частоты ходов инструмента от 5 Гц до 45 Гц, разных толщин древесины и параметров инструмента.

Базой для основного стенда № 1 являлась универсальная виброустановка «УНИВИР», построенная в «Гипролесмаш».

Стенд № 2 был создан на базе шпоночно-фрезерного станка по металлу. На стол станка устанавливался новый механизм резания с эксцентриковым приводом.

Стенд № 3 состоял из аппарата для элементарного резания и фотографирующего устройства.

На этих стендах получены следующие результаты экспериментов:

- влияние вида траектории резания и типа режущего элемента на перемещение стружки в пропиле;

- влияние числа одновременно режущих зубьев на деление древесины и выбор оптимального шага;

- влияние угла наклона главного движения резания на силы резания при вибропилении;

- влияние шага зубьев, амплитуды, частоты колебаний и скорости подачи на силовые и качественные показатели процесса вибропиления.

При проведении экспериментов было выполнено:

- измерение ширины пропила и выбор рациональной толщины полотна полосового инструмента;

- изучение деформации древесины при внедрении полосового инструмента;

- выбор контурного угла заострения режущего элемента полосового инструмента.

Результаты экспериментального исследования подтвердили, что, процесс вибропиления отличаются новые качественные особенности:

- шаг зубьев инструмента остается меньше величины хода; таким образом, вся высота пропила как бы делится на равные участки, высота которых равна ходу, а число участков равно числу зубьев, находящихся в пропиле;

- зубья тонкого полосового инструмента не разводятся и не плющатся, в результате чего потери древесины в опилки сводятся к минимуму;

– вибрационное движение инструмента значительно снижает трение полотна инструмента о стенки пропила, обеспечивая нормальные условия работы без уширения зубьев инструмента;

– проблема удаления стружки (опилок) из пропила при вибропилении утрачивает свое значение, так как опилки образуются в небольшом количестве, что облегчает организацию их удаления в процессе резания, либо они подрезанные вдавливаются вибрирующим инструментом в боковые стенки пропила, а затем легко удаляются по окончании процесса резания.

Положительный результат опытной проверки гипотезы: был получен направленный рез в любом направлении по отношению к волокнам на образцах до 200 мм. Вибрационному пиленю может подвергаться влажная и сухая древесина, а также мерзлая. Наилучшее качество поверхности пропила и точность реза получились при двойной амплитуде (ходе инструмента) 15 – 20 мм. Образцы с высотой реза до 50 мм пилили со скоростью подачи 17,5 м/мин, а с высотой 100 мм при скорости подачи 11,5 м/мин. В экспериментах была подтверждена возможность пиления поставом пил.

Исследование возможностей нового способа резания показало, что целесообразно изготовить следующий ряд экспериментальных машин:

– станки для продольного деления заготовок на паркетные дощечки поставом пилок при высоте пропила до 30 мм со скоростью подачи 15...20 м/мин;

– станки для продольной распиловки заготовок на карандашные дощечки при высоте пропила 60 мм со скоростью подачи 15...20 м/мин;

– станки для продольной распиловки брусьев на тарные дощечки при высоте пропила до 200 мм со скоростью подачи 10...15 м/мин.

Исследование автора показали, что при производстве тарных дощечек полезный выход продукции увеличивается на 13 %, а при производстве паркетных планок – на 28 %.

## Выводы

1. На основе анализа существующих способов деления древесины и известных разработок по вибрационному резанию предложен новый способ малоотходного деления – вибропиление.

2. Разработана методика расчета кинематики процесса и основных параметров полосового инструмента для вибропиления.

3. Эксперименты, проведенные по оригинальным методикам на специальных стендах, позволили определить рациональные параметры инструмента и режимы вибропиления в зависимости от различных исходных условий резания.

4. Режущий инструмент для вибропиления должен иметь: толщину полотна 0,6 мм при высоте реза до 60 мм, 0,8 мм при высоте реза до 100 мм и 1,0 мм при высоте реза 200 мм; зубья с симметричным профилем, позволяющие осуществлять резание при ходе инструмента в обе стороны или зубья с несимметричным профилем, позволяющие резать в одну сторону при рабочем ходе; контурный угол заострения  $\beta_k$  зуба симметричного профиля устанавливается в диапазоне значения 80...120° в зависимости от режима пиления ( $\beta_k = 85^\circ$  для  $V_s = 2$  м/мин и  $\beta_k = 114^\circ$  для  $V_s = 18$  м/мин); контурный угол заострения зуба несимметричного профиля  $\beta_k = 50^\circ$ ; шаг зубьев 5...7 мм при высоте зуба 3 мм.

5. Режущий инструмент с несимметричным профилем устанавливают с уклоном для выноса опилок из пропила, с симметричным профилем – без уклона для работы без удаления опилок из пропила.

6. Режим вибропиления характеризуют следующие параметры: ход инструмента 16...24 мм при частоте ходов 25...45 Гц; скорость подачи при высоте реза 100 мм до 10 м/мин, при высоте реза 50 мм до 18 м/мин; ширина пропила равна толщине инструмента.

7. По сравнению с существующими способами пиления вибропиление позволяет сократить потери древесины в опилки в 2–2,5 раза.

## РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ КРУГЛЫХ ПИЛ УВЕЛИЧЕННЫХ ДИАМЕТРОВ

В.В. ЗАЙЦЕВ, генеральный директор ЗАО «ПК ПИЛАТЭКС», г. Москва,  
В.Г. СУХАНОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ

На лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях для распиловки древесины, древесных материалов используют круглопильные станки, отличающиеся большим разнообразием конструкций и технологических схем. Опыт эксплуатации круглопильных станков показывает, что при правильном их использовании они обладают большими потенциальными возможностями. Качество распиловки на круглопильных станках зависит от правильного выбора режима резания, оптимальной конструкции круглой пилы. Уменьшение числа простоев при этом зависит от качественного инструмента, грамотного технического обслуживания, настройки и наладки станка.

Большая часть технологических операций в деревообработке выполняется на круглопильных станках. Простота устройства и высокая производительность способствуют их использованию на всех раскроечных операциях первичной и вторичной обработки древесины.

Традиционно первичная переработка круглого леса осуществлялась с помощью пиления. Основные виды распиловки – это пиление рамными, круглыми и ленточными пилами. В последнее время использование ленточных пил стало модной тенденцией.

Не будем останавливаться на преимуществах и недостатках каждого вида распиловки, отметим лишь тот факт, что процесс пиления круглого леса является процессом закрытого резания и предъявляет сложные условия работы для инструмента в условиях закрытого резания (см. раздел «Публикации» на нашем сайте <http://pilatex.narod.ru>).

Некоторые предприятия для распиловки тонкомерного леса рационально ис-

пользуют многопильные круглопильные станки. Эти станки имеют высокую производительность, более низкую по сравнению с лесопильными рамами стоимость и требуют меньших единовременных затрат при монтаже.

Круглые пилы обладают рядом преимуществ по сравнению с рамными пилами. Они имеют главное вращательное движение диска, а не возвратно-поступательное как у рамных пил, что позволяет пилить с высокими скоростями резания (до 80 м/с) и иметь сравнительно простую конструкцию привода главного движения.

Повышение скорости резания позволяет существенно повысить скорость подачи, а соответственно и производительность пиления.

Несмотря на преимущества, круглые пилы недостаточно широко используются для распиловки бревен и брусьев, т. к. создать необходимую устойчивость группы (поставы) пильных дисков в пропилах, особенно при распиловке бревен весьма трудно. Объясняется это тем, что относительно тонкий диск большого диаметра, имеющий только одну опору в центре пилы, должен работать со значительными нагрузками, не всегда находящимися в плоскости диска. Жесткость его при этом не всегда оказывается достаточной: диск отклоняется от плоскости вращения, нагревается, «зарезает» в пропилах, касаясь его стенок, и теряет свою рабочую устойчивость, что в конечном счете приводит к браку в распиловке и частым остановам станка.

Пиление круглыми пилами это процесс закрытого резания, а пиление даже тонкомера это пиление с большими высотами пропила до 200 мм. При этом трение зубьев

и диска пилы о стенки пропила вызывает повышенный износ, затупление зубьев и ухудшение качества пиленной поверхности. В следствии нагрева возникает удлинение периферии режущей части, потеря устойчивости в пропиле, биение диска, вибрация, что приводит к появлению усталостных трещин в инструменте. При воздействии на диск сил трения на нем появляются местные загоги, выпучины и прочие дефекты, для устранения которых требуется правка всей пилы.

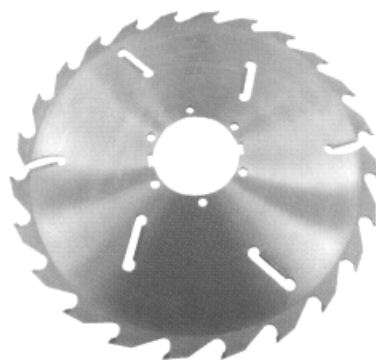
При распиловке тонкомерных бревен и брусьев с высотой пропила 150–200 мм. применяют пилы увеличенных диаметров 560...630 мм. Обеспечить устойчивую работу таких пил значительно труднее чем пил малых диаметров. Стабилизировать работу диска пилы увеличенного диаметра можно за счет специальных прорезей, которые при определенных условиях выполняют функцию не только температурных компенсаторов, но и периодического прерывания отклонения пилы от плоскости вращения (зарезания в древесине).

Начальные несовершенства в системе станок–инструмент–деталь нередко приводят к изменению геометрических параметров пропила и боковому давлению распиливаемого материала на диск пилы.

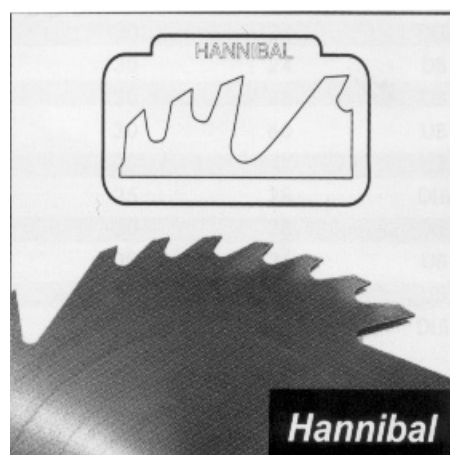
Для обеспечения прямолинейности реза и улучшения геометрии пропила, а также для успешного выноса опилок из зоны резания и предохранения боковой поверхности диска от возникновения загогов ей стремятся придать повышенную жесткость. С этой целью в компенсационные прорези и по корпусу пилы впаивают пластины (сплошные или составные) из твердого сплава, которые называют: «очистители» пропила, ножи или «успокоители». Успокоители выступают над боковой поверхностью диска на величину, меньшую уширения зубьев на одну сторону примерно на 0,8...1,2 мм (рис. 1). Расположение пазов под отрицательным углом улучшает условия для удаления опилок.

ГОСТ 980-80 не содержит данной конструкции круглых пил для распиловки древесины со значительной высотой пропи-

ла (более 150 мм.), что фактически требует пересмотра стандарта, а пилы, оснащенные твердым сплавом таких диаметров, в ГОСТе 9769-79 отсутствуют.



Еще одна конструкция круглых пил увеличенных диаметров, на которую следует обратить внимание, представляет пильный диск с зубчатым венцом, имеющим групповое расположение режущих элементов, чередуемое с глубокими пазухами (рис. 2). Размер впадин выбирается исходя из теоретических расчетов прочности и устойчивости пилы. Использование данной конструкции пил, например на многопильных станках типа Ц8Д8М, ЦМ-200, ЦМКД-28А и др. позволяет сократить расход мощности на пиление на 14...15 %.



Зубья пил увеличенных диаметров желательно оснащать твердосплавными пластинами ВК15, ВК8. Однако, при пилении древесины хвойных пород вдоль волокон целесообразно применение стеллита (литого

твердого сплава на основе кобальта, хрома, вольфрама и углерода) наплавляемого на зубья пилы из обычной инструментальной стали в плазменном процессе, в результате чего образуются монокристаллические зубья. ЗАО «ПК ПИЛАТЭКС» успешно работает по технологии стеллитирования дереворежущего инструмента уже 5 лет. Применение стеллита позволяет увеличить передний угол  $\gamma$  до  $30^\circ$  (у пил оснащенных твердым сплавом  $\gamma = 10^\circ$ ), что существенно снижает энергозатраты (до 80 %) и улучшает качество пиленной поверхности.

Для выявления условий работы режущего инструмента и энергетики процесса пиления необходимо предварительно проводить инженерные расчеты процессов резания. (см. Суханов В.Г., Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент: Учебное пособие для студентов специальностей 170400 и 260200. – М.: МГУЛ, 2002. – 168 с.)

Наиболее часто встречающиеся инженерные расчеты резания древесины и древесных материалов сводятся к решению простых задач следующих типов:

1 – расчет мощности резания  $P_p$  и подачи  $P_n$  (обычно с целью определения мощности привода главного движения и подачи в станке или для проверки загруженности установленных двигателей);

2 – расчет сил резания (главной составляющей силы резания или касательной  $F_x$ , нормальной  $F_z$ , боковой  $F_y$ , по направлению подачи  $F_s$  и нормально к подаче  $F_N$ ), обычно выступающих в качестве исходных нагрузок в прочностных расчетах режущего инструмента, в расчетах механизмов подачи, базирующих и фиксирующих устройств дереворежущих станков, при проектировании стендов для различных испытаний станков и т.п.;

3 – прогнозирование качества станочной обработки резанием (обычно параметров шероховатости обработанной поверхности) по исходным условиям обработки;

4 – расчет наибольшей допустимой скорости подачи  $V_{s(p)}$  (производительности

станка) из условия полного использования заданной мощности главного привода механизма резания;

5 – расчет наибольшей допустимой скорости подачи  $V_{s(R)}$  по заданному уровню качества обработки (обычно параметру шероховатости обработанной поверхности  $R_{m \max}$ );

6 – расчет наибольшей допустимой скорости подачи  $V_{s(G)}$  по работоспособности (предельным возможностям) режущего инструмента (прочности или жесткости режущего элемента, емкости транспортирующих стружку устройств и др.).

Сложные (комплексные) расчетные задачи по существу являются комбинациями перечисленных простых задач. Так, например, расчет оптимального по критерию максимальной производительности режима резания на станке выполняется как последовательное решение задач – 4, 5, 6; причем расчетная формула задачи 4-й выступает как целевая функция (максимум подачи, допускаемый станком), а результаты решения 5-й и 6-й задач – как ограничения математической модели оптимального режима резания (рекомендуемой скорости подачи как главного показателя режима резания).

Современные инженерные расчеты резания древесины базируются на результатах экспериментальных исследований. В качестве основных справочных материалов используют результаты наиболее полных авторитетных работ по конкретным процессам резания (См. учебник для вузов. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов – М.: МГУЛ, 2002. – 310 с.).



Влияние условий расчета, отличных от условий базового эксперимента, учитывают системой поправочных множителей (к основной справочной величине), численные значения которых также установлены экспериментально.

Инженерные расчеты мощности резания, сил, прогнозирования качества обработки и скорости подачи по алгоритмам, разработанным в МГУЛ на кафедре станков и инструментов для многопильного станка типа ЦМ – 200 (рис. 3) были выполнены при следующих исходных данных: диаметр пил  $D = 560; 630$  мм., частота вращения  $n = 1500, 1000$  мин<sup>-1</sup>; число зубьев  $Z = 24; 36; 48$ ; передний угол  $\gamma = 30^\circ$ ; время работы инструмента  $T_p = 250$  мин.; толщина диска пил  $S = 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 4,5$  мм.; ширина пропила  $B_{пр} = 4,1; 4,4; 4,6; 4,8; 6,5; 7,0$  мм.; высота пропила  $t = 120; 150; 180$  мм. Порода древесины: лиственница, влажность 60 %, температура древесины  $T = -10^\circ\text{C}$ ; шероховатость пиленой поверхности  $R_{m \max} = 320$  мкм.

Скорость подачи  $V_s = 3,8; 4,5$  м/мин., мощность резания  $P_p = 100$  кВт, число пил  $i = 1; 2; 3; 4; 5$ .

Зубья пил имели прямую и косую заточку (некоторые результаты расчетов мощности резания  $P_p$ , кВт см. в приложении к статье).

На основании проведенных расчетов были сделаны следующие выводы:

1. Применение пил  $D = 560$  мм позволяет на круглопильный станок ЦМ-200 устанавливать до пяти пил ( $i = 5$ ).
2. Уменьшение числа зубьев с 48 по ГОСТ 980-80 до 24 позволит снизить потребляемую мощность на 22 %.
3. Уменьшение частоты вращения с 1500 до 1000 мин<sup>-1</sup> позволит снизить потребляемую мощность на 4 %.
4. Летние распиловки снижают потребляемую мощность на 30 %.
5. Применение косой заточки зубьев позволяет снизить потребляемую мощность на 31 %.
6. Применяя пилы  $D = 630$  мм можно устанавливать только 2... 3 пилы.
7. Использование пил  $D = 630$  мм с косой заточкой позволит установить до 4-х пил при высоте пропила  $t = 180$  мм.
8. Увеличение переднего угла  $\gamma$  с  $10^\circ$  до  $30^\circ$  приводит к снижению мощности резания на 80 %.

## Приложение

### 1 вариант

#### Исходные данные для расчетов по продольному пиленю круглыми пилами.

Диаметр пилы	$D = 630$ мм
Частота вращения	$n = 1500$ мин <sup>-1</sup>
Число зубьев	$Z = 48$
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100$ мм (пила под столом станка)
Передний угол	$\gamma = 30^\circ$
Время работы после переточки	$T_p = 250$ мин ( $\rho = 30$ мкм; $a_p = 1,4$ ) для сплава ВЗКР
Толщина диска пилы	$S = 4,5$ мм
Ширина пропила	$B_{пр} = 7$ мм
Высота пропила	$t_{\max} = 150$ мм
Способ уширения	$\Delta$
Порода древесины	Л – лиственница
Влажность	$W = 60$ %
Температура древесины	$T = -10^\circ$
Шероховатость пиленой поверхности	$R_{m\max} = 320$ мкм
Скорость подачи	$v_s = 3,8; 4,5$ м/мин
Мощность резания	$P_p = 100$ кВт
Число пил	$i = 5$ шт.



Расчеты выполняются по рабочим алгоритмам для пиления круглыми пилами. (См. Суханов В.Г., Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. Учебное пособие для студентов специальностей 170400 и 260200. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 148–152).

### 1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами

Радиус резания:  $R = D/2 = 630/2 = 315$  мм

Расчет углов:

$$\varphi_{\text{вых}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{100+150}{315} = 37,47^\circ;$$

$$\varphi_{\text{вх}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{315} = 71,49^\circ;$$

$$\varphi_{\text{ср}} = 0,5 (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}) + 0,5 (37,47 + 71,49) = 54,48^\circ;$$

$$\varphi_{\text{к}} = \varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{вых}} = 71,49 - 37,47 = 34,0^\circ.$$

Подача на зуб

$$S'_z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 48} = 0,053 \text{ мм/зуб};$$

$$S''_z = \frac{1000 \cdot 4,5}{1500 \cdot 48} = 0,063 \text{ мм/зуб}.$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a'_{\text{ср}} = S'_z \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,053 \sin 54,48 = 0,043 \text{ мм}; a''_{\text{ср}} = S''_z \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,063 \sin 54,48^\circ = 0,051 \text{ мм}.$$

Удельная работа резания

$$K_{\text{т}} = f(\alpha_{\text{ср}}); K'_{\text{т}} = 120 \cdot \text{Дж/см}^3 \quad K''_{\text{т}} = 114 \text{ Дж/см}^3$$

$$a_{\text{поп}} = a_{\text{п}} \cdot a_{\text{в}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{ф}} \cdot a_{\text{р}} \cdot a_{\text{д}} \cdot a_{\text{в}} \cdot a_{\text{т}} = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 1,5 = 3,38.$$

$$a_{\text{п}} = 1,15 \text{ лиственница};$$

$$a_{\text{р}} = 1,4 \text{ для затупленного инструмента};$$

$$a_{\text{в}} = 1,10 \text{ для } W = 60 \%;$$

$$a_{\text{д}} = 1,0 \text{ для } \gamma = 30^\circ;$$

$$a_{\text{т}} = 1,3 \text{ для } T = -10^\circ \text{C};$$

$$a_{\text{в}} = 0,98 \text{ для } V = 50 \text{ м/с};$$

$$a_{\text{ф}} = 1,0 \text{ } \varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{ср}} = 60^\circ;$$

$$a_{\text{т}} = 1,5 \text{ для } t = 150 \text{ мм}.$$

Скорость резания

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 630 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 49,455 \text{ м/с} \approx 50 \text{ м/с}.$$

$$K' = K'_{\text{т}} \cdot a_{\text{поп}} = 120 \cdot 3,38 = 405,6 \text{ Дж/см}^3 \quad K'' = 114 \cdot 3,38 = 385,3 \text{ Дж/см}^3.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_{\text{п}} = B_{\text{пр}} \cdot t = 7 \cdot 150 = 1050 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$V'_{1\text{с}} = i f_{\text{п}} \cdot v_s / 60 = 5 \cdot 1050 \cdot 3,8 / 60 = 332,5 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$V''_{1\text{с}} = 5 \cdot 1050 \cdot 4,5 / 60 = 393,8 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Мощность резания

$$P'_p = K' V'_{1\text{с}} = 405,6 \cdot 332,5 = 134862 \text{ Вт} \approx 135 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 385,3 \cdot 393,8 = 151739 \approx 152 \text{ кВт}.$$

### 2. Расчет скорости подачи по заданной мощности механизма резания

Определяем табличную силу  $F_{\text{хт}}$

$$F_{\text{хт}} = \frac{6 \cdot 10^7 P_p \sin \varphi_{\text{ср}}}{a_{\text{поп}} \cdot v \cdot t \cdot n \cdot Z \cdot i} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 100 \sin 54,48}{3,38 \cdot 7 \cdot 150 \cdot 1500 \cdot 48 \cdot 5} = 3,82 \text{ Н/мм};$$

$$a_{cp} = f(F_{хт}) = 0,025 \text{ мм};$$

$$S_{Z(p)} = a_{cp} / \sin \varphi_{cp} = 0,025 / \sin 54,48 = 0,03 \text{ мм};$$

$$v_{s(p)} = \frac{S_{Z(p)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,03 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 2,2 \text{ м/мин.}$$

### 3. Расчет скорости подачи по заданной шероховатости $Rm_{max} = 320$ мкм.

$$v_{S(R)} = \min \{v_{S^k(R)}; v_{S^p(R)}\} = \{340; 10,8\} \text{ м/мин.}$$

$$S_{Z(R)}^p = f(Rm_{max}, \varphi_{вых}, \Delta) = 0,15 \text{ мм};$$

$$v_{S^p(R)} = \frac{S_{Z(R)}^p \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,15 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 10,8 \text{ м/мин.}$$

$$S_{Z(R)}^k = \frac{y_{max}}{A \cdot \sin \varphi_{вых} \cdot \operatorname{tg} \varphi'} = \frac{0,32}{1 \cdot \sin 75,29^\circ \cdot \operatorname{tg} 4^\circ} = 4,73 \text{ мм};$$

$$v_{S^k(R)} = \frac{S_{Z(R)}^k \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{4,73 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 340 \text{ м/мин.}$$

### 4. Расчет скорости подачи по работоспособности инструмента

$$S_Z(\sigma) = \frac{\theta \cdot t_3^2}{\sigma_{min} \cdot t} = \frac{0,35 \cdot 41,5^2}{1,5 \cdot 150} = 2,68 \text{ мм};$$

$$t_3 = \frac{\pi D}{Z} = \frac{3,14 \cdot 630}{48} = 41,2 \text{ мм};$$

$$v_s(\sigma) = \frac{S_Z(\sigma) \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{2,68 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 193 \text{ м/мин.}$$

### 5. Расчет сил резания

Цикловые силы резания

$$F_{хт} = Pp/v = 100 \cdot 10^3 / 50 = 2000 \text{ Н};$$

$$m_1 = f(a_{cp}, a_p) = f(0,043; 0,051) = 1,4;$$

$$m'_1 = 1,12; m_2 = 0; m = m_1 + m_2 = 1,18;$$

$$F_{зт} = F_{хт} \cdot m = 2000 \cdot 1,18 = 2360 \text{ Н}.$$

Сила по направлению подачи

$$F_s = F_{хт} \cos \varphi_{cp} + F_{зт} \sin \varphi_{cp} = 2000 \cos 54,48^\circ + 2360 \cdot \sin 54,48^\circ = 3083 \text{ Н}.$$

Сила нормальная к подаче

$$F_N = -F_{хт} \sin \varphi_{cp} + F_{зт} \cos \varphi_{cp} = -2000 \sin 54,48^\circ + 2360 \cos 54,48^\circ = -257 \text{ Н}.$$

Средние силы на зубе

$$F_{x \text{ cp}} = F_{хт} / (Z_p i) = 2000 / (4,53 \cdot 5) = 88 \text{ Н}.$$

$$Z_p = \ell / t_3 = \frac{186,8}{41,2} = 4,53; \ell = \frac{\pi D \varphi_k}{360^\circ} = \frac{3,14 \cdot 630 \cdot 34^\circ}{360^\circ} = 186,8 \text{ мм};$$

$$F_{Z \text{ cp}} = F_{x \text{ cp}} \cdot m = 88 \cdot 1,18 = 104 \text{ Н}.$$

Определение времени работы инструмента стального (сталь 9ХФ)

$$T_p = 10^6 \cdot L_p / (\ell n) = \frac{10^6 \cdot 10}{186,8 \cdot 1500} = 35,7 \text{ мин};$$

$L_p = f(n, a_p) = f(\text{м.п.}, 1,4) \cong 10 \text{ км}$  (для мягких пород древесины);

$$\ell = \frac{\pi D \varphi_k}{360^\circ} = \frac{3,14 \cdot 630 \cdot 34^\circ}{360^\circ} = 186,8 \text{ мм.}$$

Для пил со стеллитом ВЗК износостойкость по пути в 3...3,5, а для сплава ВЗКР в 6...7 раз выше.

$$T_p' = 35,7 \cdot 3,5 = 125 \text{ мин.}$$

$$T_p'' = 35,7 \cdot 7 = 250 \text{ мин.}$$

В соответствии с ГОСТ 980-80 средняя стойкость пил между переточками должна быть не менее:

90 мин – при распиловке древесины хвойных пород;

60 мин – при распиловке древесины твердых лиственных пород.

### II вариант

#### Исходные данные:

Диаметр пилы	$D = 560 \text{ мм.}$
Частота вращения	$n = 1500 \text{ мин}^{-1}.$
Число зубьев	$Z = 48.$
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100 \text{ мм.}$
Передний угол	$\gamma = 30^\circ.$
Время работы после переточки	$T_p = 250 \text{ мин.}$
Толщина диска пилы	$S = 4,5 \text{ мм.}$
Ширина пропила	$B_{\text{пр}} = 6,5 \text{ мм.}$
Общее уширение режущей части пилы $S_t$	$S_t = B_{\text{пр}}.$
Высота пропила	$t = 120 \text{ мм.}$
Порода древесины	$\Pi$ – лиственница
Влажность	$W = 60\%.$
Температура древесины	$T = -10^\circ \text{C.}$
Скорость подачи	$V_s = 3,8 \text{ м/мин.}$
Мощность резания	$P_p = 100 \text{ кВт.}$
Число пил	$i = 5 \text{ шт.}$
Шероховатость пиленой поверхности	$R_{\text{mmax}} = 320 \text{ мкм.}$

Расчеты выполняются по рабочим алгоритмам для пиления круглыми пилами (См. Суханов В.Г., Кищенко В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. Учебное пособие для студентов специальностей 170400 и 260200. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 148–152).

#### 1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами

Радиус резания:  $R = D/2 = 560/2 = 280 \text{ мм}$

Расчет углов:

$$\varphi_{\text{вх}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{100+120}{280} = 38,2^\circ;$$

$$\varphi_{\text{вых}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{280} = 69,1^\circ;$$

$$\varphi_{\text{ср}} = 0,5 (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}) + 0,5 (38,2 + 69,1) = 53,65^\circ;$$

$$\varphi_k = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 69,1 - 38,2 = 30,9^\circ.$$

Подача на зуб

$$S_Z = \frac{1000 V_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 48} = 0,053 \text{ мм/зуб.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{cp} = S_Z \sin \varphi_{cp} = 0,053 \sin 53,65^\circ = 0,043 \text{ мм.}$$

Удельная работа резания

$$K_T = f(a_{cp}); K_T = 120 \text{ Дж/см}^3.$$

Поправочные коэффициенты

$$a_{попр} = a_n \cdot a_w \cdot a_T \cdot a_\varphi \cdot a_p \cdot a_\delta \cdot a_v \cdot a_t = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,93 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,32 = 2,83$$

$$\begin{aligned} a_n &= 1,15 \text{ лиственница}; & a_p &= 1,4 \text{ для затупленного инструмента}; \\ a_w &= 1,10 \text{ для } W = 60\%; & a_\delta &= 1,0 \text{ для } \gamma = 30^\circ \\ a_T &= 1,3 \text{ для } T = -10^\circ\text{C}; & a_v &= 1,0 \text{ для } V = 44 \text{ м/с} \\ a_\varphi &= 0,93 \text{ } \varphi_B = \varphi_{cp} = 53,65^\circ; & a_t &= 1,32 \text{ для } t = 120 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Скорость резания

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 560 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 43,96 \text{ м/с} \approx 44 \text{ м/с.}$$

Удельная работа резания фактическая

$$K = K_T \cdot a_{попр} = 120 \cdot 2,83 = 339,2 \text{ Дж/см}^3.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_n = B_{пр} \cdot t = 6,5 \cdot 120 = 780 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$V_{1c} = i f_n \cdot v_s / 60 = 5 \cdot 780 \cdot 3,8 / 60 = 247 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Мощность резания

$$P_p = K V_{1c} = 339,2 \cdot 247 = 83781 \text{ Вт} = 84 \text{ кВт.}$$

## 2. Расчет скорости подачи по заданной мощности механизма резания $P_p = 100 \text{ кВт}$

Определяем табличную силу  $F_{хт}$

$$F_{хт} = \frac{6 \cdot 10^7 P_p \sin \varphi_{cp}}{a_{попр} \cdot v \cdot t \cdot n \cdot Z \cdot t} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 100 \sin 53,65^\circ}{2,83 \cdot 6,5 \cdot 120 \cdot 1500 \cdot 48 \cdot 5} = 6,08 \text{ Н/мм};$$

$$a_{cp} = f(F_{хт}) = 0,053 \text{ мм};$$

$$S_{Z(p)} = a_{cp} / \sin \varphi_{cp} = 0,053 / \sin 53,65^\circ = 0,066 \text{ мм};$$

$$v_{s(p)} = \frac{S_{Z(p)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,066 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 4,74 \text{ м/мин.}$$

## 3. Расчет сил резания

Цикловая касательная (окружная) сила резания

$$F_{хц} = P_p / v = 100 \cdot 10^3 / 44 = 2273 \text{ Н};$$

$$m_1 = f(a_{cp}, a_p) = f(0,043; 1,4) = 1,12; m_2 = 0;$$

$$m = m_1 + m_2 = 1,12 + 0 = 1,12.$$

Цикловая нормальная сила резания

$$F_{Zц} = F_{хц} \cdot m = 2273 \cdot 1,12 = 2546 \text{ Н.}$$

Сила по направлению подачи

$$F_s = F_{хц} \cos \varphi_{cp} + F_{Zц} \sin \varphi_{cp} = 2273 \cos 53,65^\circ + 2546 \cdot \sin 53,65^\circ = 3398 \text{ Н.}$$

Сила нормальная к подаче

$$F_N = -F_{хц} \sin \varphi_{cp} + F_{Zц} \cos \varphi_{cp} = -2273 \sin 53,65^\circ + 2546 \cos 53,65^\circ = -321 \text{ Н.}$$

Средние силы на одном зубе

$$F_{x\text{ ср}} = \frac{F_{\text{хт}}}{Z_p i} = \frac{2273}{3,88 \cdot 5} = 117 \text{ Н};$$

$$\ell = \frac{\pi D \varphi_{\kappa}}{360^{\circ}} = \frac{3,14 \cdot 560 \cdot 30,9^{\circ}}{360^{\circ}} = 151 \text{ мм};$$

$$t_3 = \frac{\pi D}{Z} = \frac{3,14 \cdot 560}{48} = 36,6 \text{ мм};$$

$$Z_p = \ell / t_3 = 151 / 36,6 = 4,12$$

$$F_{Z\text{ ср}} = F_{x\text{ ср}} \cdot m = 117 \cdot 1,12 = 131 \text{ Н}.$$

#### 4. Расчет скорости подачи по заданной мощности механизма резания $P_p = 100$ кВт

Определяем табличную силу  $F_{\text{хт}}$

$$F_{\text{хт}} = \frac{6 \cdot 10^7 P_p \sin \varphi_{\text{ср}}}{a_{\text{поп}} \cdot v \cdot t \cdot n \cdot Z \cdot i} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 100 \sin 53,65}{2,83 \cdot 6,5 \cdot 120 \cdot 1500 \cdot 48 \cdot 5} = 5,5 \text{ Н/мм};$$

$$a_{\text{ср}} = f(F_{\text{хт}}) = 0,046 \text{ мм};$$

$$S_{Z(p)} = a_{\text{ср}} / \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,046 / \sin 53,65^{\circ} = 0,057 \text{ мм/зуб};$$

$$v_{s(p)} = \frac{S_{Z(p)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,057 \cdot 1500 \cdot 48}{1000} = 4,1 \text{ м/мин}$$

Для электродвигателя с мощностью главного привода в 90 кВт скорость подачи не должна превышать 4,1 м/мин.

### III вариант

#### Исходные данные:

Диаметр пилы	$D = 560$ мм.
Частота вращения	$n = 1500$ мин <sup>-1</sup>
Число зубьев	$Z = 24$
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100$ мм.
Передний угол	$\gamma = 30^{\circ}$ .
Время работы после переточки	$T_p = 250$ мин ( $\rho = 30$ мкм; $a_p = 1,4$ ) для стеллита.
Толщина диска пилы	$S = 4,5$ мм.
Ширина пропила (общее уширение режущей части пилы $S_t$ )	$B_{\text{пр}} = 6,5$ мм. $S_t = B_{\text{пр}}$
Высота пропила	$t = 120$ мм.
Порода древесины	П – лиственница.
Влажность	$W = 50\%$
Температура древесины	$T = -10^{\circ}$ .
Скорость подачи	$v_3 = 3,8$ м/мин.
Мощность резания	$P_p = 90$ кВт.
Шероховатость пиленной поверхности	$R_{\text{тmax}} = 320$ мкм.

Расчеты выполняются по рабочим алгоритмам для пиления круглыми пилами (См.: Суханов В.Г., Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. Учебное пособие для студентов специальностей 170400 и 260200. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 148–152).

#### 1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами:

Радиус резания:  $R = D/2 = 560/2 = 280$  мм.

Расчет углов:

$$\varphi_{\text{вх}} = \arccos \frac{h + t}{R} = \arccos \frac{100 + 120}{280} = 38,2^{\circ};$$

$$\varphi_{\text{вых}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{280} = 69,1^\circ;$$

$$\varphi_{\text{ср}} = (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}})/2 = (38,2 + 69,1)/2 = 53,65^\circ;$$

$$\varphi_{\text{к}} = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 69,1 - 38,2 = 30,9^\circ.$$

Подача на зуб

$$S_Z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 24} = 0,1 \text{ мм/зуб.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{\text{ср}} = S_Z \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,1 \sin 53,65^\circ = 0,08 \text{ мм.}$$

Удельная работа резания

$$K_T = f(a_{\text{ср}}) = 99 \text{ Дж/см}^3.$$

Поправочные коэффициенты

$$a_{\text{попр}} = a_n \cdot a_w \cdot a_T \cdot a_\varphi \cdot a_\rho \cdot a_\delta \cdot a_v \cdot a_t = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,93 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,32 = 2,83,$$

$a_n = 1,15$ лиственница;	$a_\rho = 1,4$ для затупленного инструмента;
$a_w = 1,10$ для $W = 50\%$ ;	$a_\delta = 1,0$ для $\gamma = 30^\circ$ ;
$a_T = 1,3$ для $T = -10^\circ\text{C}$ ;	$a_v = 1,0$ для $U = 44 \text{ м/с}$ ;
$a_\varphi = 0,93$ для $\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{ср}} = 53,65^\circ$ ;	$a_t = 1,32$ для $t = 120 \text{ мм}$ .

Скорость резания

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 43,96 \text{ м/с} \approx 44 \text{ м/с.}$$

Удельная работа резания фактическая

$$K = K_T \cdot a_{\text{попр}} = 99 \cdot 2,83 = 279,8 \text{ Дж/см}^3.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_{\text{п}} = B_{\text{пр}} \cdot t = 6,5 \cdot 120 = 780 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$V_{\text{1с}} = i f_{\text{п}} \cdot v_s / 60 = 5 \cdot 780 \cdot 3,8 / 60 = 247 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Мощность резания

$$P_p = K V_{\text{1с}} = 279,8 \cdot 247 = 69112 \text{ Вт} = 69,1 \text{ кВт.}$$

Мощность двигателя механизма резания

$$P_d = P_p / (\eta_d \cdot \eta_{\text{п}}) = 69,1 / (0,9 \cdot 0,99) = 77,6 \text{ кВт};$$

$\eta_d = 0,9$  к.п.д. двигателя;  
 $\eta_{\text{п}} = 0,99$  к.п.д. подшипников.

В этом варианте электродвигателя в 90 кВт достаточно.

## 2. Расчет скорости подачи по заданной мощности механизма резания

Определяем табличную силу  $F_{\text{хт}}$

$$F_{\text{хт}} = \frac{6 \cdot 10^7 P_p \sin \varphi_{\text{ср}}}{a_{\text{попр}} \cdot v \cdot t \cdot n \cdot Z \cdot i} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 90 \sin 53,65^\circ}{2,83 \cdot 6,5 \cdot 120 \cdot 1500 \cdot 24 \cdot 5} = 10,95 \text{ Н/мм};$$

$$a_{\text{ср}} = f(F_{\text{хт}}) = 0,132 \text{ мм};$$

$$S_{Z(p)} = a_{\text{ср}} / \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,132 / \sin 53,65^\circ = 0,16 \text{ мм};$$

$$v_{s(p)} = \frac{S_{Z(p)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,16 \cdot 1500 \cdot 24}{1000} = 5,9 \text{ м/мин.}$$

**IV вариант**

**Исходные данные**

Диаметр пилы	$D = 560$ мм.
Частота вращения	$n = 1000$ мин <sup>-1</sup> .
Число зубьев	$Z = 48$ .
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100$ мм.
Передний угол	$\gamma = 30^\circ$ .
Время работы после переточки	$T_p = 250$ мин. (стеллит) $\rho = 30$ мкм; $a_p = 1,4$
Толщина диска пилы	$S = 3,8$ мм (2,2; 2,5; 2,8)
Ширина пропила	$B_{пр} = 6,5$ мм
Полное уширение режущей части пилы $S_t$	$S_1 = 0,7 \dots 0,8$ – зимой;
Уширение на одну сторону пилы $S_1$	$S_1 = 0,8 \dots 0,9$ – летом;
Фактическое уширение	$S_t = 3,8 + 2 \cdot 0,8 = 5,4$ мм;
	$S_t = 3,8 + 2 \cdot 0,9 = 5,6$ мм;
	$S_t = 3,8 + 2 \cdot 1,35 = 6,5$ мм.
Высота пропила	$t = 120$ мм
Порода древесины	$\Pi$ – лиственница.
Влажность	$W = 50\%$
Температура древесины	$T = -10^\circ\text{C}$
Скорость подачи	$v_s = 3,8$ м/мин.
Мощность э/двигателя пильного вала	$P_d = 90$ кВт.
Шероховатость пиленой поверхности	$R_{тmax} = 320$ мкм.

**1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами**

Радиус резания:  $R = D/2 = 560/2 = 280$  мм.

Расчет углов:

$$\varphi_{вх} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{100+120}{280} = 38,2;$$

$$\varphi_{вых} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{280} = 69,1;$$

$$\varphi_{ср} = 0,5 (\varphi_{вх} + \varphi_{вых}) + 0,5 (38,2 + 69,1) = 53,65;$$

$$\varphi_{к} = \varphi_{вых} - \varphi_{вх} = 69,1 - 38,2 = 30,9.$$

Подача на зуб

$$S'_Z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1000 \cdot 48} = 0,079 \text{ мм/зуб};$$

$$S''_Z = \frac{1000 \cdot 4,5}{1000 \cdot 48} = 0,094 \text{ мм/зуб}.$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a'_{ср} = S_Z \sin \varphi_{ср} = 0,079 \sin 53,65^\circ = 0,064 \text{ мм};$$

$$a''_{ср} = S_Z \sin \varphi_{ср} = 0,094 \sin 53,65^\circ = 0,094 \text{ мм}.$$

Удельная работа резания табличная

$$K'_T = f(a_{ср} = 0,064) = 107 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K''_T = f(a_{ср} = 0,094) = 94 \text{ Дж/см}^3.$$

Поправочные коэффициенты

$$a_{попр} = a_{\Pi} \cdot a_w \cdot a_T \cdot a_{\varphi} \cdot a_p \cdot a_{\delta} \cdot a_v \cdot a_t = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,93 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,08 \cdot 1,32 = 3,05$$

$$a_{\Pi} = 1,15 \text{ лиственница};$$

$$a_w = 1,10 \text{ для } W = 50\%;$$

$$a_T = 1,3 \text{ для } T = -10^\circ\text{C};$$

$$a_{\varphi} = 0,93 \text{ для } \varphi_{в} = \varphi_{ср} = 53,65;$$

$$a_p = 1,4 \text{ для затупленного инструмента};$$

$$a_{\delta} = 1,0 \text{ для } \gamma = 30^\circ;$$

$$a_v = 1,08 \text{ для скорости резания } v = 29,3 \text{ м/с};$$

$$a_t = 1,32.$$

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 560 \cdot 1000}{1000 \cdot 60} = 29,3 \text{ м/с.}$$

Удельная работа резания фактическая

$$K = K_T \cdot \alpha_{\text{поп}} = 107 \cdot 3,05 = 326,6 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K'' = 94 \cdot 3,05 = 286,7 \text{ Дж/см}^3;$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_{\text{п}} = B_{\text{пр}} \cdot t = 6,5 \cdot 120 = 780 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$V_{1c} = i f_{\text{п}} \cdot v_s / 60 = 5 \cdot 780 \cdot 3,8 / 60 = 247 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$V_{\gg 1c} = i f_{\text{п}} \cdot v_s' / 60 = 5 \cdot 780 \cdot 4,5 / 60 = 292,5 \text{ см}^3/\text{с};$$

Мощность резания

$$P_p^1 = K V_{1c} = 326,6 \cdot 247 = 80670 \text{ Вт} \approx 80,7 \text{ кВт};$$

$$P_p'' = 286,7 \cdot 292,5 = 83860 \text{ Вт} \approx 83,9 \text{ кВт};$$

Мощность двигателя механизма резания

$$P_d^1 = P_p / (\eta_d \cdot \eta_n) = 80,7 / 0,9 \cdot 0,99 = 90,5 \text{ кВт};$$

$$P_d'' = 83,9 / 0,9 \cdot 0,99 = 94,1 \text{ кВт}.$$

В этом варианте электродвигателя в 90 кВт будет достаточно для  $v_s = 3,8 \text{ м/мин}$ , а для скорости подачи  $v_s = 4,5 \text{ м/мин}$  необходим электродвигатель мощностью в 95 кВт.

## 2. Расчет скорости подачи по заданной мощности механизма резания

Определяем табличную силу  $F_{\text{хт}}$

$$F_{\text{хт}} = \frac{6 \cdot 10^7 P_p \sin \varphi_{\text{ср}}}{\alpha_{\text{поп}} \cdot v \cdot t \cdot n \cdot Z \cdot i} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 90 \sin 53,65}{3,05 \cdot 6,5 \cdot 120 \cdot 1000 \cdot 48 \cdot 5} = 7,62 \text{ Н/мм};$$

$$a_{\text{ср}} = f(F_{\text{хт}} = 7,62) = 0,075 \text{ мм};$$

$$S_{Z(p)} = a_{\text{ср}} / \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,075 / \sin 56,65^\circ = 0,09 \text{ мм/зуб};$$

$$v_{s(p)} = \frac{S_{Z(p)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,09 \cdot 1000 \cdot 48}{1000} = 4,3 \text{ м/мин}.$$

## 3. Расчет скорости подачи по заданной шероховатости $R_{\text{тmax}} = 320 \text{ мкм}$

$$v_{S(R)} = \min \{v_{S(R)}^k; v_{S(R)}^p\} = \{117,6; 3,6\} \text{ м/мин}.$$

$$S_{Z(R)}^k = \frac{y_{\text{max}}}{A \cdot \sin \varphi_{\text{вых}} \cdot \text{tg} \varphi'} = \frac{0,32}{1 \cdot \sin 69,1^\circ \cdot \text{tg} 4^\circ} = 4,9 \text{ мм/зуб};$$

$$v_{S(R)}^k = \frac{S_{Z(R)}^k \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{4,9 \cdot 1000 \cdot 48}{1000} = 235 \text{ м/мин}.$$

По неровностям разрушения:

$$S_{Z(R)}^p = f(R_{\text{тmax}}, \varphi_{\text{вых}}, \Delta) = f(320; 69,1^\circ; \Delta) = 0,15 \text{ мм/зуб};$$

$$v_{S(R)}^p = \frac{S_{Z(R)}^p \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{0,15 \cdot 1000 \cdot 48}{1000} = 7,2 \text{ м/мин}.$$



**3. Расчет сил резания**

Цикловая касательная (окружная) сила резания:

$$F_{\text{ци}} = P_p/v = 90 \cdot 10^3/44 = 2045 \text{ H};$$

$$m_1 = f(a_{\text{cp}}, a_p) = f(0,08; 1,4) = 0,96; m_2 = 0;$$

$$m = m_1 + m_2 = 0,96 + 0 = 0,96.$$

Цикловая нормальная сила резания

$$F_{Z\text{ц}} = F_{\text{ци}} \cdot m = 2045 \cdot 0,96 = 1963 \text{ H}.$$

Сила по направлению подачи

$$F_s = F_{\text{ци}} \cos \varphi_{\text{cp}} + F_{Z\text{ц}} \sin \varphi_{\text{cp}} = 2045 \cos 53,65^\circ + 1963 \cdot \sin 53,65^\circ = 2793 \text{ H}.$$

Сила нормальная к подаче

$$F_N = -F_{\text{ци}} \sin \varphi_{\text{cp}} + F_{Z\text{ц}} \cos \varphi_{\text{cp}} = -2045 \sin 53,65^\circ + 1963 \cos 53,65^\circ = -484 \text{ H}.$$

Средние силы на одном зубе

$$F_{x \text{ cp}} = \frac{F_{\text{ци}}}{Z_p i} = \frac{2045}{1,94 \cdot 5} = 211 \text{ H};$$

$$l = \frac{\pi D \varphi_k}{360^\circ} = \frac{3,14 \cdot 560 \cdot 30,9^\circ}{360^\circ} = 151 \text{ мм};$$

$$t_3 = \frac{\pi D}{Z} = \frac{3,14 \cdot 560}{24} = 73,3 \text{ мм};$$

$$Z_p = l/t_3 = 151/73,3 = 2,06;$$

$$F_{Z \text{ cp}} = F_{x \text{ cp}} \cdot m = 211 \cdot 0,96 = 203 \text{ H}.$$

**4. Прогнозирование качества пиленой поверхности**

$$Rm_{\text{max}} = \max \{R^k m_{\text{max}}; R^p m_{\text{max}}\} = \{6,7; 200\}$$

$$R^k m_{\text{max}} = y_1 \cdot 1000 = 0,007 = 7,0 \text{ мкм};$$

$$y_1 = A S_Z \sin \varphi_{\text{вых}} \operatorname{tg} \varphi' = 1 \cdot 0,1 \cdot \sin 69,1^\circ \cdot \operatorname{tg} 4^\circ = 0,007 \text{ мм};$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 1 \\ \varphi' = 4^\circ \end{array} \right\} \text{ для пластин твердого сплава типа I.}$$

$$R^p m_{\text{max}} = f(S_Z, \varphi_{\text{вых}}, \Delta) = f(0,1; 69,1^\circ; \Delta) = \text{менее } 200 \text{ мкм}.$$

**5. Расчет скорости подачи по работоспособности инструмента**

$$S_{Z(\sigma)} = \frac{\theta \cdot t_3^2}{\sigma_{\text{min}} \cdot t} = \frac{0,35 \cdot 73,2^2}{1,5 \cdot 120} = 10,4 \text{ мм};$$

$$\pi_s(\sigma) = \frac{S_{Z(\sigma)} \cdot n \cdot Z}{1000} = \frac{10,4 \cdot 1500 \cdot 24}{1000} = 375 \text{ м/мин}.$$

**Вывод**

Применение пил  $D = 560$  мм, с  $Z = 24$ , позволит использовать электродвигатель мощностью 90 кВт и обеспечить скорость подачи до  $5,9 \text{ м/мин}$ , при качестве пиленой поверхности **Rmmax** менее 200 мкм.

**У вариант**

Расчет для стандартных круглых пил по ГОСТ 980-80

**Исходные данные:**

Диаметр пил	$D = 630$ мм.
Толщина диска пил	$S = 2,5'; 2,8»; 3,0»; 3,2^{IV}$ мм.
Уширение на одну сторону	$S_1 = S_2 = 0,7 \dots 0,8$ .
Общее уширение зубьев	$S_t = S + 2S_1 = 4,1'; 4,4»; 4,6»; 4,8^{IV}$ .
Ширина пропила	$B_{пр} \approx S_t = 4,1'; 4,4»; 4,6»; 4,8^{IV}$ .
Число зубьев	$Z = 48$ шт.
Частота вращения	$n = 1500$ мин <sup>-1</sup> .
Расстояние от оси	$h = 100$ мм.
Высота пропила	$t = 200$ мм.
Передний угол	$\gamma = 30^\circ$ .
Время работы инструмента	$T_p = 36$ мин. ( $L_p = 10$ км; $a_p = 1,4$ ).
Способ уширения зубьев	$\Delta$ .
Порода древесины	П – лиственница.
Влажность	$W = 60\%$
Температура древесины	$T = -10^\circ\text{C}$ .
Шероховатость пиленной поверхности	$R_{max} = 320$ мкм.
Скорость подачи	$v_s = 3,8; 4,5$ м/мин.
Мощность двигателя пильного вала	$P_d = 15 - 100$ кВт.
Число пил	$i = 5$ .

Расчеты выполняются по рабочим алгоритмам для пиления круглыми пилами.

**1. Расчет мощности резания**

Расчет углов:  $R = D/2 = 630/2 = 315$  мм

$$\varphi_{вх} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{100+200}{315} = 17,75^\circ;$$

$$\varphi_{вых} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{315} = 71,49^\circ;$$

$$\varphi_{ср} = (\varphi_{вх} + \varphi_{вых}) / 2 = (17,75^\circ + 71,49^\circ) / 2 = 44,62^\circ;$$

$$\varphi_k = \varphi_{вых} - \varphi_{вх} = 71,49 - 17,75 = 53,74^\circ.$$

Подача на зуб

$$S'_Z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 48} = 0,053 \text{ мм/зуб.};$$

$$S''_Z = \frac{1000 \cdot 4,5}{1500 \cdot 48} = 0,063 \text{ мм/зуб.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a'_{ср} = S'_Z \sin \varphi_{ср} = 0,053 \cdot \sin 44,62^\circ = 0,037 \text{ мм } a''_{ср} = 0,063 \cdot \sin 44,62^\circ = 0,044 \text{ мм.}$$

Удельная работа резания табличная

$$K_T = f(a_{ср});$$

$$K'_T = f(0,037) = 124 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K''_T = f(0,044) = 119 \text{ Дж/см}^3.$$

Поправочные коэффициенты

$$a_{\text{попр}} = a_n \cdot a_w \cdot a_T \cdot a_\phi \cdot a_p \cdot a_\delta \cdot a_v \cdot a_t = 1,15 \cdot 1,10 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 1,7 = 3,26;$$

$$\begin{aligned} a_n &= 1,15 \text{ лиственница}; & a_p &= 1,4; \\ a_w &= 1,10 \text{ для } W = 60\%; & a_\delta &= 1,0 \text{ для } \gamma = 30^\circ; \\ a_T &= 1,3 \text{ для } T = -10^\circ\text{C}; & a_v &= 0,98 \text{ для } v = 50 \text{ м/с}; \\ a_\phi &= 0,85; \phi_b = \phi_{\text{ср}} = 44,6^\circ; & a_t &= 1,7 \text{ } t = 200 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 630 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 49,48 \text{ м/с}.$$

Удельная работа резания фактическая

$$\begin{aligned} K^* &= K_T a_{\text{попр}} = 124 \cdot 3,26 = 404,3 \text{ Дж/см}^3; \\ K^{**} &= K_T^* a_{\text{попр}} = 119 \cdot 3,26 = 397,9 \text{ Дж/см}^3. \end{aligned}$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$\begin{aligned} f'_n &= B_{\text{пр}} \cdot t = 4,1 \cdot 200 = 820 \text{ мм}^2; \\ f''_n &= B_{\text{пр}} \cdot t = 4,4 \cdot 200 = 880 \text{ мм}^2; \\ f'''_n &= B_{\text{пр}} \cdot t = 4,6 \cdot 200 = 920 \text{ мм}^2; \\ f^{iv}_n &= B_{\text{пр}} \cdot t = 7,0 \cdot 200 = 1400 \text{ мм}^2; \\ f^v_n &= B_{\text{пр}} \cdot t = 4,8 \cdot 200 = 960 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$\begin{aligned} V_{1c} = i f_n \cdot v_s / 60 = & 5 \cdot 960 \cdot 4,5 / 60 = 360 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 960 \cdot 3,8 / 60 = 304 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 820 \cdot 3,8 / 60 = 259,7 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 820 \cdot 4,5 / 60 = 307,5 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 880 \cdot 3,8 / 60 = 278,7 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 880 \cdot 4,5 / 60 = 330 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 920 \cdot 3,8 / 60 = 291,3 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 920 \cdot 4,5 / 60 = 345 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 1400 \cdot 3,8 / 60 = 443,3 \text{ см}^3/\text{с}; \\ & 5 \cdot 1400 \cdot 4,5 / 60 = 525 \text{ см}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Мощность резания:

$$\begin{aligned} P_p = K V_{1c} = & 404,3 \cdot 259,7 = 104997 = 105 \text{ кВт}; \\ & 404,3 \cdot 278,7 = 112678 = 113 \text{ кВт}; \\ P_p = K V_{1c} & 404,3 \cdot 291,3 = 117773 = 118 \text{ кВт}; \\ & 397,3 \cdot 307,5 = 122170 = 122 \text{ кВт}; \\ & 397,3 \cdot 330 = 131109 = 131 \text{ кВт}; \\ & 397,3 \cdot 345 = 137069 = 137 \text{ кВт}; \\ & 404,3 \cdot 443,3 = 179240 = 179,2 \text{ кВт}; \\ & 397,3 \cdot 525 = 208582 = 208,6 \text{ кВт}; \\ & 404,3 \cdot 304 = 122907 = 123 \text{ кВт}; \\ & 397,3 \cdot 360 = 143028 = 143 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

$B_{\text{пр}}$	$v_s$	$i$
4,1	3,8	5
4,4	3,8	5
4,6	3,8	5
4,8		
4,1	4,5	5
4,4	4,5	5
4,6	4,5	5
7,0	3,8	5
7,0	4,5	5
4,8	3,8	5
4,8	4,5	5

**VI вариант**

**Исходные данные**

Диаметр пилы	$D = 630$ мм.
Частота вращения	$n = 1500$ мин <sup>-1</sup> .
Число зубьев	$Z = 24$ .
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100$ мм.
Время работы после переточки	$T_p = 250$ мин. ( $\rho = 30$ мкм; $a_p = 1,4$ ) для стеллита.
Толщина диска пилы	$S = 4,5$ мм.
Ширина пропила	$B_{pp} = 7,0$ мм.
Уширение зубьев	$S_1 = 1,25$ мм.
Способ уширения	$\Delta$
Высота пропила	$t = 180$ мм.
Порода древесины	$P$ – лиственница.
Влажность	$W = 60\%$ .
Температура древесины	$T = -10^\circ\text{C}$ .
Скорость подачи	$v'_s = 3,8$ м/мин.; $v''_s = 4,5$ м/мин.
Число пил	$i = 5$ шт.
Мощность э/двигателя пильного вала	$P_p = 100$ кВт.

**1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами**

Радиус резания:  $R = D/2 = 560/2 = 280$  мм.

Расчет углов:

$$\varphi_{\text{вх}} = \arccos \frac{h + t}{R} = \arccos \frac{100 + 180}{315} = 27,27^\circ;$$

$$\varphi_{\text{вых}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{315} = 71,49^\circ;$$

$$\varphi_{\text{ср}} = (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}) / 2 = (27,27^\circ + 71,49^\circ) / 2 = 49,38^\circ;$$

$$\varphi_{\text{к}} = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 71,49^\circ - 27,27^\circ = 44,22^\circ.$$

Подача на зуб

$$S'_Z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 24} = 0,106 \text{ мм/зуб.};$$

$$S''_Z = \frac{1000 \cdot 4,5}{1500 \cdot 24} = 0,125 \text{ мм/зуб.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a'_{\text{ср}} = S'_Z \sin \varphi_{\text{ср}} = 0,106 \sin 49,38^\circ = 0,080 \text{ мм};$$

$$a''_{\text{ср}} = 0,125 \cdot \sin 49,38^\circ = 0,095 \text{ мм.}$$

**Удельная работа резания табличная**

$$K_T = f(\alpha_{\text{ср}}); K'_T = f(0,080) = 99 \text{ Дж/см}^3; K''_T = f(0,095) = 93 \text{ Дж/см}^3.$$

Расчет поправочных множителей

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{п}} \cdot a_{\text{w}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{ф}} \cdot a_{\text{р}} \cdot a_{\delta} \cdot a_{\text{v}} \cdot a_{\text{т}} = 1,15 \cdot 1,10 \cdot 1,3 \cdot 0,90 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 1,6 = 3,61;$$

$$a_{\text{п}} = 1,15 \text{ лиственница}; \quad a_{\text{р}} = 1,4;$$

$$a_{\text{w}} = 1,10 \text{ для } W = 60\%; \quad a_{\delta} = 1,0 \text{ для } \gamma = 30^\circ;$$

$$a_{\text{т}} = 1,3 \text{ для } T = -10^\circ\text{C}; \quad a_{\text{v}} = 0,98;$$

$$a_{\text{ф}} = 0,90 \text{ } \varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{ср}} = 49,38^\circ; \quad a_{\text{т}} = 1,6 \text{ для } t = 180 \text{ мм.}$$

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 630 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 50 \text{ м/с.}$$

Удельная работа пиления фактическая

$$K' = K_T \cdot a_{\text{поп}} = 99 \cdot 3,61 = 357,4 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K'' = 93 \cdot 3,61 = 335,7 \text{ Дж/см}^3.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_{\text{п}} = B_{\text{пр}} \cdot t = 7 \cdot 180 = 1260 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины

$$V'_{1c} = i f_{\text{п}} \cdot v_s / 60 = 5 \cdot 1260 \cdot 3,8 / 60 = 399 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$V''_{1c} = 5 \cdot 1260 \cdot 4,5 / 60 = 472,5 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Мощность резания (для 5 пил)

$$P'_p = K' V'_{1c} = 357,4 \cdot 399 = 142603 \text{ Вт} \approx 143 \text{ кВт};$$

$$P''_p = K'' V''_{1c} = 335,7 \cdot 472,5 = 158618 \text{ Вт} \approx 159 \text{ кВт}.$$

Мощность резания (для 4-х пил)

$$P'_p = 114082 \text{ Вт} \approx 114 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 126894 \text{ Вт} \approx 127 \text{ кВт}.$$

Мощность резания (для 3-х пил)

$$P'_p = 85561,8 \approx 86 \text{ кВт};$$

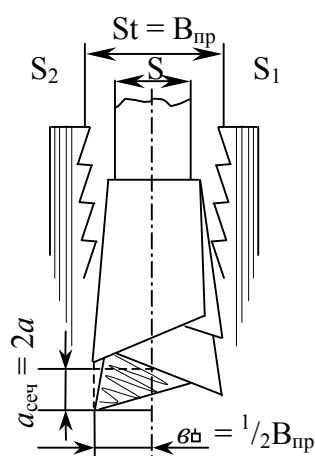
$$P''_p = 95171 \approx 95 \text{ кВт}.$$

### Вывод

Для заданной мощности двигателя в 100 кВт устанавливать не более 3-х пил.

### VII вариант

Исходные данные VI варианта, но пила с косой заточкой зубьев.



Для этого случая (см. рис.) средняя толщина срезаемого слоя по сечению  $a_{\text{сеч}} \approx 2a$  при ширине  $e \approx 0,5 B_{\text{пр}}$ . Ширина пропила  $B_{\text{пр}} \approx S_t = S + S_1 + S_2$ , где  $S$  – толщина диска пилы.

$S_1, S_2$  – уширение зубьев влево и вправо.

Средняя толщина срезаемого слоя в этом варианте

$$a'_{\text{ср}} = 2a' = 2S'_z \sin \varphi_{\text{ср}} = 2 \cdot 0,106 \cdot \sin 49^\circ 38' = 0,16 \text{ мм};$$

$$a''_{\text{ср}} = 2a'' = 2S''_z \sin \varphi_{\text{ср}} = 2 \cdot 0,125 \cdot \sin 49^\circ 38' = 0,19 \text{ мм}.$$

Удельная работа резания табличная

$$K_T = f(a_{\text{ср}}); K_T = f(0,16) = 76 \text{ Дж/см}^3; K''_T = 71 \text{ Дж/см}^3.$$

Удельная работа пиления фактическая

$$K'_T = \kappa_T \cdot a_{\text{поп}} = 76 \cdot 3,61 = 274,36 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K''_T = 71 \cdot 3,61 = 256,31 \text{ Дж/см}^3.$$

Мощность резания (для 5 пил)

$$P'_p = K'V'_{1c} = 274,36 \cdot 399 = 109470 \text{ Вт} \approx 109 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 256,31 \cdot 472,5 = 121106 \text{ Вт} \approx 121 \text{ кВт}.$$

Мощность резания (для 4-х пил)

$$P'_p = 87576 \text{ Вт} \approx 88 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 96885 \text{ Вт} \approx 97 \text{ кВт}.$$

### Вывод

Для заданной мощности двигателя в 100 кВт можно устанавливать не более 4-х пил.

### VIII вариант

#### Исходные данные:

Диаметр пилы	$D = 630 \text{ мм}.$
Частота вращения	$n = 1500 \text{ мин}^{-1}.$
Число зубьев	$Z = 36.$
Расстояние от оси пилы до стола	$h = 100 \text{ мм}.$
Время работы после переточки	$T_p = 250 \text{ мин}.$
Толщина диска пилы	$S = 4,5 \text{ мм}.$
Ширина пропила	$B_{пр} = 7 \text{ мм}.$
Высота пропила	$t = 180 \text{ мм}.$
Порода древесины	$П - \text{лиственница/}$
Влажность	$W = 60\%.$
Температура древесины	$T = -10^\circ\text{C}.$
Скорость подачи	$v'_s = 3,8 \text{ м/мин}; v''_s = 4,5 \text{ м/мин}.$
Число пил	$i = 1; 3; 4; 5 \text{ шт}.$
Мощность э/двигателя пильного вала	$P_p = 100 \text{ кВт}.$

#### 1. Расчет мощности резания при пилении круглыми пилами:

Радиус резания:  $R = D/2 = 560/2 = 280 \text{ мм}.$

Расчет углов:

$$\varphi_{вх} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{100+180}{315} = 27,27^\circ;$$

$$\varphi_{вых} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{100}{315} = 71,49^\circ;$$

$$\varphi_{ср} = (\varphi_{вх} + \varphi_{вых}) / 2 = (27,27 + 71,49) / 2 = 49,38^\circ;$$

$$\varphi_k = \varphi_{вых} - \varphi_{вх} = 71,49 - 27,27 = 44,22^\circ.$$

Подача на зуб

$$S'_Z = \frac{1000 v_s}{n \cdot Z} = \frac{1000 \cdot 3,8}{1500 \cdot 36} = 0,070 \text{ мм/зуб};$$

$$S''_Z = \frac{1000 \cdot 4,5}{1500 \cdot 36} = 0,083 \text{ мм/зуб}.$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a'_{ср} = S'_Z \sin \varphi_{ср} = 0,070 \sin 49,38^\circ = 0,053 \text{ мм};$$

$$a''_{ср} = 0,083 \cdot \sin 49,38^\circ = 0,063 \text{ мм}.$$

Удельная работа резания табличная

$$K_T = f(a_{ср}); K'_T = f(0,053) = 113 \text{ Дж/см}^3; K''_T = f(0,063) = 107 \text{ Дж/см}^3.$$

## СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Поправочный множитель  $a_{\text{попр}} = 3,61$ .

Удельная работа пиления фактическая

$$K = K_t \cdot a_{\text{попр}} = 113 \cdot 3,61 = 407,93 \text{ Дж/см}^3;$$

$$K'' = 107 \cdot 3,61 = 386,27 \text{ Дж/см}^3.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

$$f_{\text{п}} = B_{\text{пр}} \cdot t = 7 \cdot 180 = 1260 \text{ мм}^2.$$

Секундный объем срезаемой древесины одной пилой

$$V'_{1c} = i f_{\text{п}} \cdot v_s / 60 = 1 \cdot 1260 \cdot 3,8 / 60 = 79,8 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$V''_{1c} = 1260 \cdot 4,5 / 60 = 94,5 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Мощность резания (для одной пилы)

$$P'_p = \kappa' V'_{1c} = 407,93 \cdot 79,8 = 32553 \text{ Вт} \approx 33 \text{ кВт}$$

$$P''_p = \kappa'' V''_{1c} = 386,27 \cdot 94,5 = 36503 \text{ Вт} \approx 37 \text{ кВт}$$

Мощность резания (для 3-х пил)

$$P'_p = 97658 \approx 98 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 109509 \approx 110 \text{ кВт}.$$

Мощность резания (для 4-х пил)

$$P'_p = 130,2 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 146,0 \text{ кВт}.$$

Мощность резания (для 5-ти пил)

$$P'_p = 162,8 \text{ кВт};$$

$$P''_p = 182,5 \text{ кВт}.$$

Результаты всех расчетов мощности по вариантам сведены в сборную таблицу.

Мощность резания  $P_p$ , кВт

Таблица

№ п/п	D, мм	n, мин <sup>-1</sup>	t, мм	B <sub>пр</sub> , мм	Z, шт	v <sub>s</sub> , м/мин	Вид заточки	Мощность резания P <sub>p</sub> (кВт), при числе пил i				
								1	2	3	4	5
1	560	1500	120	6,5	48	3,8	□ прямая	16,8	33,5	50,2	67,0	83,7
2	560	1500	120	6,5	48	4,5	□ прямая	17,1	34,2	51,3	68,3	85,4
3	560	1500	120	6,5	24	3,8	□ прямая	13,8	27,6	41,5	55,3	69,1
4	560	1500	120	6,5	24	4,5	□ прямая	15,2	30,5	45,7	60,9	76,1
5	560	1000	120	6,5	48	3,8	□ прямая	16,1	32,3	48,4	64,5	80,7
6	560	1000	120	6,5	48	4,5	□ прямая	16,8	33,5	50,3	67,1	83,9
7	630	1500	150	7,0	48	3,8	□ прямая	27,0	53,9	80,9	107,9	135
8	630	1500	150	7,0	48	4,5	□ прямая	30,3	60,7	91,0	121,4	152
9	630	1500	180	7,0	24	3,8	□ прямая	28,5	57,0	85,6	114,1	142,6
10	630	1500	180	7,0	24	4,5	□ прямая	31,7	63,4	95,2	126,9	158,6
11	630	1500	180	7,0	36	3,8	□ прямая	32,6	65,1	97,7	130,2	162,8
12	630	1500	180	7,0	36	4,5	□ прямая	36,5	73,0	109,5	146,0	182,5
13	630	1500	180	7,0	24	3,8	□ косая	21,9	43,8	65,7	87,6	109,5
14	630	1500	180	7,0	24	4,5	□ косая	24,2	48,4	72,7	96,9	121,1
15	630	150	200	7,0	48	3,8	□ прямая	35,8	71,7	107,5	143,4	179,2
16	630	1500	200	7,0	48	4,5	□ прямая	41,7	83,4	125,1	166,9	208,6
17	630	1500	200	4,1	48	3,8	□ прямая	21,0	42,8	63,0	84,0	105,0
18	630	1500	200	4,1	48	4,5	□ прямая	24,4	48,9	73,3	97,7	122,2
19	630	1500	200	4,4	48	3,8	□ прямая	22,5	45,1	67,6	90,1	112,7
20	630	1500	200	4,4	48	4,5	□ прямая	26,2	52,4	78,7	104,9	131,1
21	630	1500	200	4,6	48	3,8	□ прямая	23,6	47,1	70,7	94,2	117,8
22	630	1500	200	4,6	48	4,5	□ прямая	27,4	54,8	82,2	109,7	137,1
23	630	1500	200	4,8	48	3,8	□ прямая	24,6	49,2	73,7	98,3	123
24	630	1500	200	4,8	48	4,5	□ прямая	28,6	57,2	85,8	114,4	143

## НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОДОЛЬНОГО ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

В.Г. СУХАНОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ,  
В.В. ЗАЙЦЕВ, генеральный директор ЗАО «ПК ПИЛАТЭКС», г. Москва

Уменьшение потерь древесины в опилки является важнейшей проблемой малоотходной технологии. Решение этой проблемы имеет большое народнохозяйственное значение не только для снижения издержек производства, но и для сохранения наших лесных богатств. Решать эту проблему очень часто приходится при покупке нового оборудования и инструмента для участка первичного раскроя – получения из бревен досок и черновых заготовок.

В настоящее время раскрой древесины осуществляется методом пиления с применением в качестве инструмента полосовых (рамных), ленточных и круглых пил. При пилении часть материала, в пределах пропила, срезается зубьями и удаляется в виде опилок. Так, при пилении превращается в опилки от 11 % до 19 % объема ценной древесины. В России ежегодно образуется 15...16 млн. кубометров опилок, причем из этого количества рационально используется только около 10 % гидролизной промышленностью и менее 2 % идет на производство древесной муки и плит. Кроме того, 35...45 % идет на топливо, а оставшиеся 45...55 % опилок практически не находят применения.

Основным оборудованием, применяемым в настоящее время для продольного пиления, являются лесопильные рамы, ленточнопильные, круглопильные, фрезернопильные, фрезерно-брусующие и фрезерно-профилирующие станки.

Производительность лесопильных рам в пересчете на суммарную площадь пропила существенно выше, чем у однопильных станков других типов. По сравнению с пиломатериалами, полученными на

ленточно-и круглопильных станках, пиломатериалы, полученные на лесопильных рамах, имеет более высокую точность размеров. Значительная часть опилок может быть превращена в технологические опилки увеличенных размеров.

Главным недостатком лесопильных рам является невысокая и неравномерная скорость перемещения пил (от 0 до 9 м/с), что препятствует повышению их производительности. Значительные трудности создают также знакопеременные инерционные возмущающие силы, уравнивание которых превратилось в сложную техническую задачу.

Распиловка бревен на ленточнопильных станках в ряде случаев отличается значительными преимуществами по сравнению с распиловкой на лесопильных рамах и круглопильных станках. На однопильных станках можно производить индивидуальную открытую распиловку с учетом особенностей каждого бревна.

Потери древесины в опилки при ленточном пилении минимальны.

Главной проблемой при пилении ленточными пилами является повышение их жесткости в зоне резания и обеспечения высокой точности перемещения каретки по рельсовому пути. Определенная сложность возникает при эксплуатации сдвоенных и четырехпильных блочных ленточнопильных станков-агрегатов.

В лесопилении получили широкое распространение круглопильные станки для всех видов распиловки бревен и досок, шпалорезные для распиловки бревен и брусьев, а также обрезные и торцовочные.

Главным недостатком круглопильных станков является повышенные требования к



базированию, значительные потери древесины в опилки, сложность подготовки круглых пил к работе, пониженная точность размеров пиломатериала.

Появление фрезерно-брусующих, фрезерно-пильных и фрезерно-профилирующих станков дало возможность вести комплексную переработку бревен на пиломатериалы и технологическую щепу в одном станке, что позволило упростить технологию лесопиления. Вместо потока с двумя лесопильными рамами и обрезным станком появился один агрегат. Отпала операция перемещения и базирования брусков и досок, значительно повысилась производительность. Но возникли и новые проблемы. Неизбежно и заметно снизился выход пиломатериалов, частицы древесины, образующиеся при фрезеровании, по форме являются не щепой, а стружкой. Технологическая стружка имеет переменные угол среза торцевой поверхности и толщину, поэтому её используют как сырьё различного назначения.

О сложившихся областях использования лесопильного оборудования в Европе можно судить по объемам производства пиломатериалов в ведущих лесопильных странах (табл. 1).

При оценке эффективности использования различных видов оборудования учитываются размеры и качество выпиленной пиломатериала, особенности раскроя, сортность и размеры исходного сырья, а также экономические показатели эффективности работы оборудования в различных условиях.

Так, например, при распиловке бревен больших диаметров (в США, Канаде и некоторых районах Сибири) выгодно применять ленточнопильные станки и особенно ленточнопильные агрегаты. Это объясняется тем, что распиловка крупномерного сырья на широкопроветренных рамах менее производительна. При распиловке бревен средних и малых диаметров выгоднее использовать узко- и среднепроветренные лесопильные рамы, так как они не уступают в производительности ленточнопильным станкам. В то же время лесопильные рамы обеспечивают более

высокое качество поверхности и точность размеров пиломатериалов.

Круглопильные станки, исключая отдельные специальные разработки, выгоднее использовать преимущественно для распиловки тонкомерного сырья. По сравнению с лесопильными рамами и ленточнопильными станками они дают более широкий пропил и меньшую точность размеров пиломатериалов (табл. 2).

Однако основное преимущество круглопильных станков по сравнению с другим бревнопильным оборудованием заключается в простоте конструкции, сравнительно небольшой стоимости и высокой производительности (табл. 3).

Основным способом снижения ширины пропила при пилении круглыми пилами является переход на использование «плавающих» пил с направляющими. По данным ЦНИИМОДа, при высотах пропила до 150 мм ширина пропила при использовании «плавающих» круглых и ленточных пил может иметь одинаковую величину. Однако конструкция оборудования с установкой «плавающих» пил усложняется, поскольку в зону пиления необходимо подавать охлаждающую жидкость.

Имеется тенденция к использованию фрезерного и фрезернопильного оборудования с целью повышения пропускной способности лесопильных потоков и концентрации технологических операций. Фрезернопильные агрегаты перерабатывают бревна на пиломатериалы и технологическую щепу со значительно более высокой производительностью, но снижают выход пиломатериалов. Однако область их применения в настоящее время ограничена; эти станки используются в основном для переработки тонкомерных бревен.

Наши исследования показали, что лесопильные рамы пока имеют существенные преимущества перед другими бревнопильными станками и остаются основным головным оборудованием лесопильных потоков. Это подтверждается опытом применения различного лесопильного оборудования в Европе и других странах (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Применяемое оборудование	Объем производства пиломатериалов, %		
	Россия	Швеция	Франция
Лесопильные рамы	82	54	2
Круглопильные станки	12	38	21
Ленточнопильные станки	4	4	56
Фрезернопильные и фрезерно-брусующие станки	1	4	21

Т а б л и ц а 2

Применяемое оборудование	Размеры пиломатериалов, %		
	Меньше допустимых	В пределах допуска	Больше допустимых
Лесопильные рамы	4	94	2
Ленточнопильные для бревен	3	88	9
Ленточнопильные делительные	6	76	18
Горизонтальные ленточнопильные для горбылей	21	76	3
Круглопильные для бревен	1	81	18

Т а б л и ц а 3

Наименование станка	Высота пропила, мм	Ширина пропила, мм	Практическая производительность по площади пластей в товарном виде, м <sup>2</sup> /ч	Трудозатраты на образование 100м <sup>2</sup> площади пластей в твердом виде, чел/час
Ленточнопильный для раскря бревен	до 1100	2,5...3,5	285	0,35...0,70
Лесопильная рама	120 – 650	4,0...5,0	285	0,35...0,70
Круглопильный для бревен с тележкой	500 – 1000	7,0...8,0	48,5	4,1
Круглопильный многопильный для тонких бревен	до 200	5,5...6,5	350	0,57
Круглопильный многопильный для распиловки брусьев	до 150	4,0...5,0	275	0,72
Ленточнопильный делительный	до 700	2,5	170	1,17
Круглопильный ребровый	до 300	6,0	63	3,17
Круглопильный обрезной	до 100	4,5	90	2,25
Круглопильный прирезной	до 100	4,5	25	8,0
Круглопильный с «плавающими» пилами	до 160	3,4	300	–

В Канаде при распиловке бревен на лесопильных рамах было получено 94 % пиломатериалов нормальной точности, на ленточнопильных – 88 %, а на круглопильных только 81 % (табл. 2). В соответствии с данными ЦНИИМОД, выход пиломатериалов составил на лесорамах 53,2 %, на фрезернопильном оборудовании ЛАПБ – 49,5 %, на

фрезерно-брусующем ФБ-2 – 46 %, а на ФБ-4 ещё меньше – 45 % .

Заменять традиционный метод распиловки бревен на лесопильных рамах агрегатным можно только после тщательного технико-экономического анализа и только там, где его применение действительно эффективно.

В мировой практике обычно не противопоставляют лесопильные рамы, круглопильные и ленточнопильные станки, а используют их одновременно в потоке. Сегодня классическим вариантом является применение технологического потока, включающего лесопильную раму или сдвоенный ленточнопильный станок для распиловки брусьев и горизонтальный ленточнопильный станок для распиловки горбылей.

Экономичность рассматриваемых процессов пиления можно характеризовать количеством образующихся опилок. Существует прямая связь между шириной пропила и количеством образующихся опилок.

Расчетная ширина пропила  $B_{пр.р}$  считается равной общему уширению пилы  $S_t$

$$B_{пр.р} = S_t = S + S_1 + S_2, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина пилы, мм;

$S_1$  – уширение зубьев влево, мм;

$S_2$  – уширение зубьев вправо.

Общее уширение  $S_t$  достигается плещением или разводом зубьев, а также конструированием пил с поднутрением зубьев напайкой на зубья пластин твердого сплава со свесом или наплавки износостойкого материала (стеллита) с уширением для последующей заточки с формированием углов поднутрения.

Фактическая ширина пропила  $B_{пр.ф.}$  может несколько отличаться от расчетной

$$B_{пр.ф.} = S + S_1 + S_2 + 2(S_3 - S_4), \quad (2)$$

где  $S_3$  – амплитуда поперечных колебаний режущей части пилы;

$S_4$  – величина упругого восстановления поверхности пропила.

При пилении считается обязательным, чтобы выполнялось неравенство

$$S_1 + S_2 + 2S_3 > 2S_4. \quad (3)$$

Величина  $S_3$  минимальная у рамных пил за счет хорошего натяжения пил и ограничения свободной длины пилы, а максимальная у круглых пил, особенно при плохой их подготовке к работе.

Величина  $S_4$  зависит от породы, температуры, направления пиления по отношению к волокнам и особенно от влажности древесины. Чем больше влажность, тем больше упругое восстановление боковых стенок пропила.

Для практических целей, связанных с подготовкой инструмента и расчетом общего уширения режущей части пильного инструмента  $S_t$ , можно рекомендовать использовать формулу (1).

### Выбор основных параметров пильного инструмента

Практика лесопиления выявила необходимость подбора полосовых пил в соответствии с высотой распиливаемого материала.

Толщину пил  $S$  (мм) выбирают пользуясь зависимостью  $S = 0,1\sqrt{d_k}$ , где  $d_k$  – диаметр бревна в комле, мм, определяемый по формуле  $d_k = (d_b + C_6 L_6) / 10$ , где  $d_b$  – диаметр бревна в вершине, см;  $C_6$  – сбеги бревна, см/м;  $L_6$  – длина бревна, м.

Длина пил, мм, определяется по формуле

$$L = d_k + H + m,$$

где  $H$  – ход пильной рамки, мм;

$m$  – запас на крепление пил 200...350 мм.

Полученное значение округляют до ближайшей большей стандартной длины.

Уширение рамной пилы  $S_1, S_2$  выбирают в зависимости от породы, влажности и температуры древесин (табл. 4).

Толщину ленточных пил выбирают в зависимости от диаметра шкива  $D_{ш}$  в пределах  $S = (0,001 \dots 0,0007) D_{ш}$ , мм.

Длину рассчитывают по формуле

$$L_{max} = \pi D_{ш} + 2A_{max}, \text{ мм},$$

где  $A_{max}$  – максимальное межцентровое расстояние между шкивами, мм.

Уширение ленточной пилы  $S_1, S_2$  выбирают в зависимости от типа пил, породы, влажности и температуры древесин (табл. 4)

Выбор основных параметров круглых пил.

Величина одностороннего уширения зубьев  $S_1$  и  $S_2$

Тип пилы	Назначение или исходный диаметр	Для древесины мягких пород		Для древесины твердых листвен. пород любой влажности и температуры
		Влажность до 30 % или мерзлая	Влажность выше 30 %, летом	
Рамные пилы ТУ 3957-035-00224633-01	Для двухэтажных лесопильных рам (ГОСТ 5524)	0,9	1,1	0,8
	Для тарных лесопильных рам (ГОСТ 10482)	0,6	0,65	0,5
Ленточные пилы ТУ 3957-036-00224633-01	Столярные, тип 1, ГОСТ 6332	0,3...0,4	0,45...0,50	0,25...0,35
	Делительные, тип 2, ГОСТ 6532	0,5...0,6	0,55...0,65	0,4...0,5
	Бревнопильные, ГОСТ 10670	0,6...0,7	0,7...0,8	0,5...0,6
Круглые пилы плоские ТУ 3922-034-00224633-01	Диаметр пил 125...315	0,75	0,8	0,7
	360...500	1,2	1,4	1,0
	560...630	1,35	1,5	1,2
	710...900	1,45	1,6	1,3
	1000...1250	1,65	1,8	1,5

Для станков с верхним расположением пил минимальный диаметр пил определяют по формуле

$$D_{\min} = 2(t + 0,5d_{\phi} + h_3),$$

где  $t$  – высота пропила, мм;

$d_{\phi}$  – диаметр зажимного фланца, мм;

$h_3$  – наименьший выход пилы из пропила, равный высоте зуба пилы.

Для станков с нижним расположением пилы

$$D_{\min} = 2(t+h+h_3),$$

где  $h$  – наименьшее расстояние от оси пилы до стола станка.

Начальный диаметр стальных пил

$$D = D_{\min} + 2\Delta,$$

где  $\Delta$  – запас на переточку ( $\Delta = 25$  при  $D < 500$  мм;  $\Delta = 50$  мм для  $D = 500...1000$  мм;  $\Delta = 100$  мм для  $D = 1250$  и  $1500$  мм).

Зависимость между толщиной и диаметром диска может быть выражена по практическим данным следующей формулой:

$$S \approx 0,1 \sqrt{D}.$$

Есть и другая старинная рекомендация: толщина пильного диска должна составлять 1/200 часть диаметра. Это правило действует и поныне.

Уширение зубьев круглых пил выбирают в зависимости от породы, влажности, температуры и диаметра пилы (табл. 4).

Оптимальная величина уширения зубьев пил преимущественно зависит от породы, влажности, температуры распиливаемой древесины, остроты и качества подготовки пил.

Величину уширения устанавливают на основании рекомендаций практики и специальных исследований. Основными факторами, влияющими на величину уширения зубьев пил, является упругая деформация боковой поверхности пропила и силы трения между пилой и стенками пропила.

Величину коэффициентов трения можно уменьшить за счет применения смазки, изменения физических свойств трущихся поверхностей, температуры и воздействия вибрации.

Покрытие пил антифрикционным полимерным материалом (тефлон, фторопласт и др.) уменьшает коэффициент трения на 30...35 % при влажности древесины 10 %. С

ростом нагрузки эффективность покрытий достигает 50 %, а по данным зарубежных исследований до 70 %. На величину коэффициента трения древесины по стали изменение влажности и температуры оказывает значительное влияние. Повышенная влажность играет роль смазки, а уменьшение температуры приводит к падению коэффициента трения, который имеет наименьшее значение при отрицательной температуре ( $-15^{\circ}$ ).

Уменьшить величину бокового давления на зубья и полотно пилы можно за счет увеличения остроты боковых лезвий и наклонной заточки передних поверхностей зубьев.

Говоря о возможности уменьшения ширины пропила за счет снижения амплитуды поперечных колебаний режущей части инструмента  $S_3$ , следует отметить, что практика выработала два основных приема для уменьшения амплитуды колебаний и повышения устойчивости пил. Первый прием – натяжение полотна пилы. Натяжение рамных пил осуществляется через специальные натяжные устройства. Второй прием – укорочение длины свободной части пилы путем введения дополнительных опор. Этот прием широко используется для улучшения условий работы ленточных и рамных пил. Зубчатые венцы круглых пил «натягивают» проковкой или вальцеванием.

Наилучшие условия для натяжения пильных полотен и размещения добавочных опор существуют у лесопильных рам, поэтому и пиломатериалы, выпиленные на лесопильных рамах, отличаются повышенной точностью (табл. 2).

Технический прогресс дает новые возможности для увеличения производительности лесопильных потоков за счет сокращения количества простоев технологического оборудования, связанных со сменой затупившегося инструмента. Увеличение ресурса инструмента между переточками можно обеспечить в основном за счет упрочнения зубчатой кромки износостойкими сплавами на основе вольфрама и кобальта. Применительно к первичной обработке дре-

весины наиболее успешно зарекомендовали себя в эксплуатации пилы, оснащенные износостойким сплавом «СТЕЛЛИТ» марки ВЗКР по ГОСТ 21449-75 и «СТЕЛЛИТ 12Р» фирмы Deloro Stellite.

Основным преимуществом этих пил перед пилами с твердосплавными пластинами ВК8-ВК15 является восприимчивость к ударным нагрузкам и, как следствие, отсутствие сколов и выкрошенных зубьев при равных условиях работы. Кроме того, зубья пил, наплавленные износостойким сплавом «СТЕЛЛИТ» затачиваются на станках модельного ряда ТчПА производства Кировского станкостроительного завода, повсеместно распространенных на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности.

ЗАО Производственная компания «ПК ПИЛАТЭКС» на протяжении ряда лет занимается производством и поставкой в различные регионы страны пил, зубья которых наплавлены износостойким сплавом «СТЕЛЛИТ». На основании положительных отзывов потребителей и постоянно растущего спроса на пилы складывается тенденция расширения производства данного вида инструмента.

Исходя из рассмотренного выше материала можно сделать следующие выводы. Основным способом продольного деления древесины остается способ резания с образованием пропила. Наиболее широко применяемыми пилами остаются полосовые-рамные, позволяющие проводить групповую распиловку бревен, получать наилучшее качество пиленной поверхности и наименьшие отходы. Однако и в этом случае величина отходов древесины в опилки остается все еще значительной, составляющей в среднем 12...15 %. Прогрессивным направлением в использовании новых инструментальных материалов является применение «СТЕЛЛИТА».

#### Библиографический список

1. Суханов В.Г. Круглопильные станки для распиловки древесины. – М.: Лесн. Пром-сть, 1984. – 96 с.
2. Суханов В.Г. Проблемы деления пиловочного сырья в технологии лесопиления // Научн. тр. МЛТИ: Оборудование, автоматизация и вопросы

- механизации процессов деревообработки. – М., 1981. – Вып. 132. – С. 5–6.
3. Суханов В.Г. Особенности применения тонкого пилового инструмента // Науч. тр. МЛТИ: Автоматизация и комплексная механизация процессов деревообработки. – М.; 1986. – Вып. 186. – С. 49–53.
  4. Суханов В.Г., Кищенко В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. – М.: МГУЛ, 2002. – 168 с.
  5. ТУ 3957-035-00224633-01 «Пилы рамные и тарные с режущими элементами, наплавленными износостойким материалом (стеллитом)».
  6. ТУ 3957-036-00224633-01 «Пилы ленточные с режущими элементами, наплавленными износостойким материалом (стеллитом)».
  7. ТУ 3922-034-00224633-01 «Пилы круглые плоские дереворежущие с режущими элементами, наплавленными износостойким материалом (стеллитом)».

## КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

В.И. КОРОТКОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, канд. техн. наук

Процесс механической обработки на станке осуществляется при относительном движении режущего инструмента и заготовки. Траектория такого движения определяется геометрической формой детали, т. е. её чертежом. Чертеж любой сложности строится из базовых геометрических элементов: точек, прямых, кривых и состоящих из дуг окружностей или иных аналитических кривых.

Такой набор геометрических элементов, формирующих контур изделия, определяет требуемую траекторию движения исполнительных органов станка. На практике желаемая траектория обеспечивается сочетанием простых движений: вращательного и (или) поступательного. Согласованное относительное движение заготовки и режущего инструмента, которые создают поверхность заданной формы называется формообразующим.

Если для образования данной поверхности требуется одно формообразующее движение, то оно является главным движением резания. При наличии двух формообразующих движений одно, имеющее большую скорость, является главным движением резания, а второе, с меньшей скоростью, движением подачи.

Кроме формообразующих движений в станке необходимы перемещения заготов-

ки и инструмента в такое положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать геометрическую форму детали требуемого размера. Движение, при котором отсутствует процесс резания и резец не взаимодействует с материалом, назовем установочным (наладочным). При наладке выполняется позиционирование до процесса режущего элемента с материалом с последующей фиксацией исполнительного органа или обрабатываемого материала в заданном положении.

Формообразующие движения играют в станке определяющую роль, и оказывают существенное влияние на конструкцию режущего инструмента и механизмов станка.

В табл. 1 приведены основные виды формообразующих движений, которые широко используются при практической реализации типовых технологических операций обработки древесины резанием.

Все формообразующие движения классифицированы по числу одновременно исполняемых и согласованных элементарных движений (одно, два, три и более). Другими признаками классификации являются: вид элементарного движения (поступательное  $v$  или вращательное  $\omega$ ) и закон скорости движения (скорость постоянная или переменная).

**Виды и состав формообразующих движений резания при выполнении типовых технологических операций**

Функция формообразующего движения	Траектория точки и параметрические уравнения движения	Пример технологической операции	Пример станка
1	2	3	4
<b>1. Одно движение</b>			
1. Поступательное, $f(v)$			
1.1.1. $f(v_x)$ , $v_x = \text{const}$	Прямая линия, параллельная оси $x$ . $x = i, i=0..Lx$ ; $y = s_0$ .	Строгание шпона вдоль волокон древесины, разрезание ножом, рубка шпона	Шпонострогальные станки с неподвижным ножом и конвейерной подачей материала, ножницы
1.1.2. $f(v_x)$ , $v_x \neq \text{const}$	Прямая линия, параллельная оси $x$ . $x = L \cdot \cos \alpha + \sqrt{L^2 - (R \cdot \sin \alpha)^2}$ ; $y = s_0$ .	Строгание шпона поперек волокон древесины, распиловка бревен на пиломатериалы, вырубка тонких листовых деталей	Станки с кривошипно-ползунным механизмом и приводом толчковой подачи материала за холостой ход, шпонопочиночный станок
2. Вращательное, $f(\omega)$			
1.2.1. $f(\omega_z)$ , $\omega_z = \text{const}$	Окружность. $x = R \cdot \cos \alpha$ ; $y = R \cdot \sin \alpha$ .	Получение стружки для изготовления плит, производство тарной дощечки, разрезание листового материала	Стружечные станки с вращающимся ножевым барабаном или диском, дисковые ножницы
1.2.2. $f(\omega_z)$ , $\omega_z \neq \text{const}$	Окружность. $x = R \cdot \cos \alpha$ ; $y = R \cdot \sin \alpha$ .	Производство тарной дощечки	Станки с колебательным (качающимся) движением рабочего органа
<b>2. Два движения</b>			
2.1. Поступательное + Поступательное, $f(v_1, v_2)$			
2.1.1. $f(v_x, v_y)$ , $v_x = \text{const}$ ; $v_y = \text{const}$	Прямая наклонная линия. $x = i, i=0..Lx$ ; $y = k \cdot x + s_z$ ; $k = \text{tg} \psi = v_y / (60v_x)$ .	Распиловка бревен, раскрой досок и плит на прямолинейные заготовки, разрезание листового материала.	Ленточнопильные станки с механической подачей материала, ножницы с наклонными направляющими
2.1.2. $f(v_x, v_y)$ , $v_x \neq \text{const}$ ; $v_y = \text{const}$	Плоская кривая. $x = L \cdot \cos \alpha + \sqrt{L^2 - (R \cdot \sin \alpha)^2}$ ; $y = k \cdot x + \frac{s_0}{2}$ ; $k = \text{tg} \psi = v_y / (60v_x)$ .	Распиловка бревен, бруса на пиломатериалы, изготовление тарной дощечки	Лесопильные рамы с непрерывной подачей, станки с кривошипно-ползунным механизмом резания
2.2. Вращательное + Поступательное, $f(\omega, v)$			
2.2.1. $f(\omega_z, v_x)$ , $\omega_z = \text{const}$ ; $v_x = \text{const}$	Удлиненная циклоида. $x = r \cdot \alpha - R \cdot \sin \alpha$ ; $y = r - R \cdot \cos \alpha$ ; $r = \frac{s_0}{2\pi}$ .	Фрезерование плоских и профильных поверхностей, формирование шипов и проушин	Станки фуговальные, рейсмусовые, фрезерные, четырехсторонние продольнофрезерные, шипорезные

1	2	3	4
2.2.2. $f(\omega_z, v_x)$ , $\omega_z = \text{const}$ ; $v_x = \text{const}$	Архимедова спираль $\rho = k \cdot \varphi$ ; $k = \frac{v_x}{\omega_z}$ .	Лущение шпона, получение деталей круглой формы точением	Станки лущильные, токарные
2.2.3. $f(\omega_z, v_z)$ , $\omega_z = \text{const}$ ; $v_z = \text{const}$	Винтовая линия $x = R \cdot \cos t$ ; $y = R \cdot \sin t$ ; $z = h \cdot t$ .	Сверление отверстий, получение деталей цилиндрической формы, шлифование	Станки сверлильные, круглопалочные, токарные, шлифовальные с дисковым рабочим органом
<b>2.3. Вращательное + Вращательное, <math>f(\omega_1, \omega_2)</math></b>			
2.3.1. $f(\omega_{1z}, \omega_{2z})$ , $\omega_{1z} = \text{const}$ ; $\omega_{2z} = \text{const}$	Удлиненная эпициклоида $x = (R_k + mR_k) \cos(m\alpha) - R \cdot \cos(\alpha + m\alpha)$ ; $y = (R_k + mR_k) \sin(m\alpha) - R \cdot \sin(\alpha + m\alpha)$ ; $m = r/Rk$	Торцовка пиломатериалов на заданную длину	Станки круглопильные торцовочные с подачей материала вращающимся барабаном
2.3.2. $f(\omega_{1z}, \omega_{2z})$ , $\omega_{1z} = \text{const}$ ; $\omega_{2z} \neq \text{const}$		Поперечный раскрой пиломатериалов	Станки круглопильные торцовочные с колебательным движением подачи (маятниковые)
<b>3. Три движения</b>			
<b>3.1. Вращательное + Поступательное + Поступательное, <math>f(\omega, v_1, v_2)</math></b>			
3.1.1. $f(\omega_z, v_x, v_z)$ , $\omega_z = \text{const}$ ; $v_x \neq \text{const}$ ; $v_z = \text{const}$	Пространственная кривая – сочетание циклоиды и винтовой линии	Формирование гнезд для шиповых соединений (скругленных пазов) концевой (хвостовой) фрезой	Станки сверлильнопазовальные
3.1.2. $f(\omega_z, v_x, v_z)$ , $\omega_z = \text{const}$ ; $v_x = \text{const}$ ; $v_z \neq \text{const}$	то же	Шлифование плоских поверхностей вальцом с абразивным покрытием или широкой лентой со шкивной рабочей частью	Станки шлифовальные вальцовые и широколенточные с ассцилирующим движением исполнительного органа
<b>3.2. Вращательное + Вращательное + Поступательное, <math>f(\omega_1, \omega_2, v_2)</math></b>			
3.2.1. $f(\omega_z, \omega_y, v_z)$ $\omega_z = \text{const}$ ; $\omega_y \neq \text{const}$ ; $v_z = \text{const}$	Сложная пространственная кривая	Формирование скругленных гнезд (пазов) для шиповых соединений концевой (хвостовой) фрезой	Станки сверлильнопазовальные
3.2.2. $f(\omega_{z1}, \omega_{z2}, v_y)$ $\omega_{z1} = \text{const}$ ; $\omega_{z2} \neq \text{const}$ ; $v_y = \text{const}$	то же	Формирование прямоугольных гнезд (пазов) для шиповых соединений пластинчатой фрезой (долбяком)	Станки долбежные с пластинчатой фрезой (долбяком)
<b>4. Четыре и более движений</b>			
<b>4.1. Множество поступательных и вращательных движений, <math>f(\omega_1, \omega_2, \dots, v_1, \dots, v_2)</math></b>			
Комбинация прямолинейных и вращательных движений	Сложная пространственная кривая	Обработка сложных пространственных и скульптурных поверхностей объемных деталей	Станки копировально-фрезерные, токарно-фрезерные, обрабатывающие центры с программным управлением

Обозначения:  $Lx$  – длина;  $s_0$  – подача на оборот за холостой ход;  $R$  – радиус окружности (длина кривошипа);  $L$  – длина шатуна;  $\alpha$  – угол поворота,  $\alpha = 0..2\pi$ ;  $s_z$  – подача на зуб;  $Rk$  – радиус барабана (длина кривошипа)



Следующими признаками классификации целесообразно принять направление и наименование координатных осей, по которым перемещаются исполнительные органы станка. Для обеспечения единства кинематического анализа и упрощения графического отображения траектории движения используют прямоугольную правую систему координат.

В ряде случаев при построении графиков удобнее пользоваться полярными, а не декартовыми координатами.

С целью упрощения расчета траекторий условно можно считать обрабатываемый материал неподвижным, а его возможное движение придать инструменту, причём направление движения инструмента следует изменить в противоположную сторону. В других случаях наоборот, неподвижную систему координат связывают с инструментом, а все движения придают изделию.

Ось вращения шпинделя, который передает активную силу на заготовку, обозначают буквой  $z$ , независимо от того, вращает шпиндель инструмент или заготовку.

Вращение вокруг координатных осей и возможные поступательные движения по координатным осям обозначают индексами, соответствующими наименованию координатных осей, например,

$\omega_x$  – вращение вокруг оси  $x$ ,  $v_y$  – поступательное движение по оси  $y$ .

За положительное направление движения по осям принимается направление движения, при котором увеличивается расстояние между заготовкой и держателем инструмента.

С учетом принятых признаков классификации представим возможные варианты (наборы) движений в виде формирующей функции, например,

$$f(\omega_x, v_x, v_y, \dots).$$

Аргументами такой функции будем считать список элементарных движений, причём первый аргумент (в примере  $\omega_x$ )

обозначает главное движение (движение резания), а последующие аргументы – движение подачи.

Функция результирующего движения отображает кинематическую структуру станка и определяет траекторию режущих элементов в древесине. Каждая конкретная траектория в таблице описана соответствующей системой параметрических уравнений.

Используя данные уравнения, можно с помощью компьютера построить траекторию относительного движения точки в абсолютной системе координат. В качестве примера далее представлены графики результирующего движения при выполнении некоторых технологических операций.

На рис. 1 показана траектория точки режущего элемента при одном формообразующем движении в технологической операции соответственно: строгание (шпона) (рис. 1, *a*); пиление бревен на лесопильных рамах с толчковой подачей за холостой ход (рис. 1, *b*); получение стружки при измельчении древесины (рис. 1, *в*).

Наиболее широкое распространение получили траектории при двух одновременно исполняемых движениях (рис. 2).

Такие формирующие движения применяют при выполнении технологических операций: пиление ленточными пилами (рис. 2, *a*); распиловка бревен на лесопильных рамах (рис. 2, *b*); пиление круглыми пилами (фрезерование) (рис. 2, *в*); лущение (рис. 2, *г*); сверление (рис. 2, *д*).

Приведенные в таблице параметрические уравнения движений можно использовать для определения характерных точек траектории режущих элементов в древесине и рассчитать размерные параметры (толщина, длина и объем) срезаемого слоя в зависимости от величины исходного параметра уравнений.

В качестве примера на рис. 3 приведен график изменения толщины срезаемого слоя одним резцом от угла поворота инструмента.

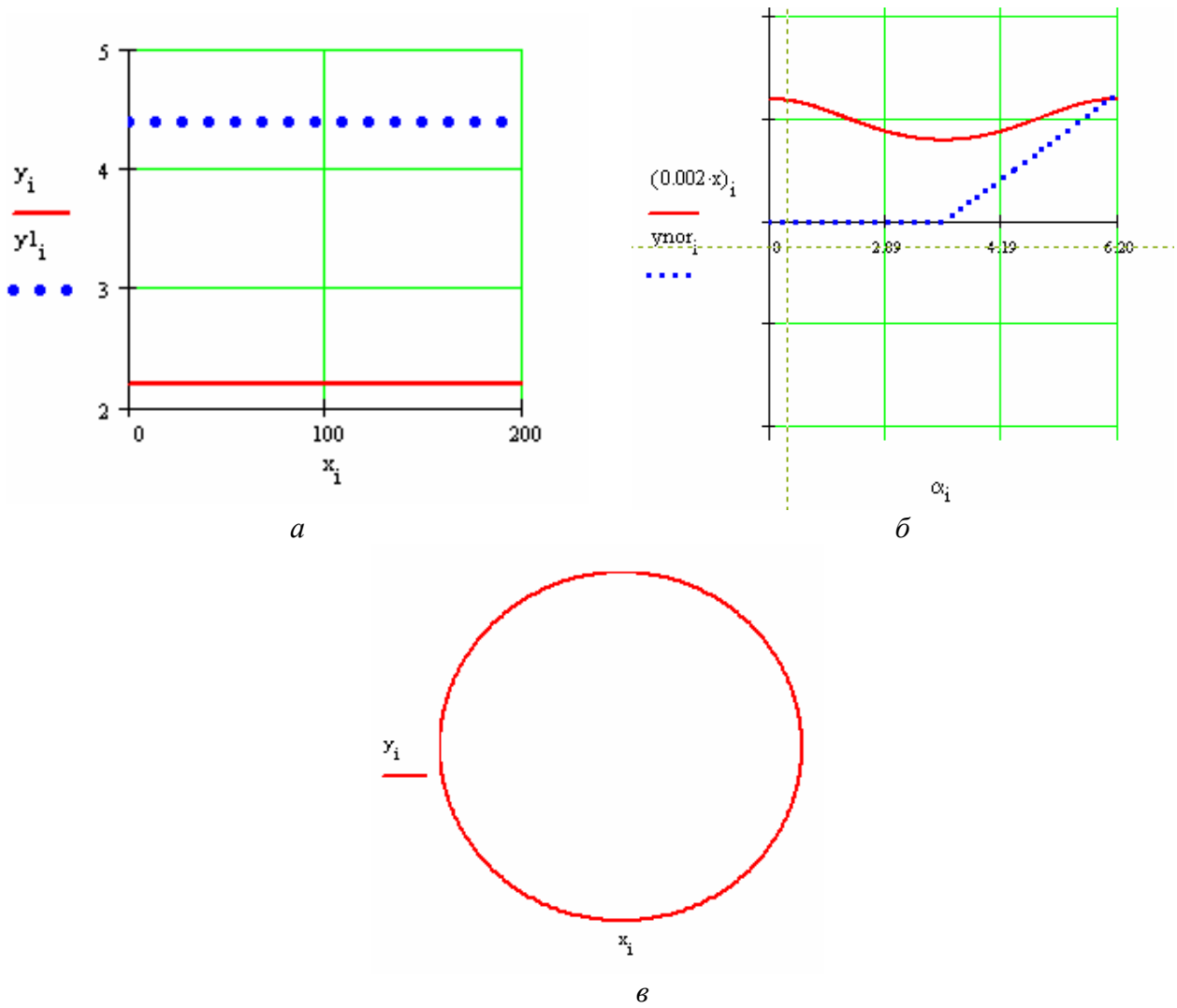


Рис. 1. Траектория режущего элемента (одно движение) при технологической операции: *a* – строгание (шпона); *б* – пиление бревен на лесопильных рамах; *в* – получение стружки

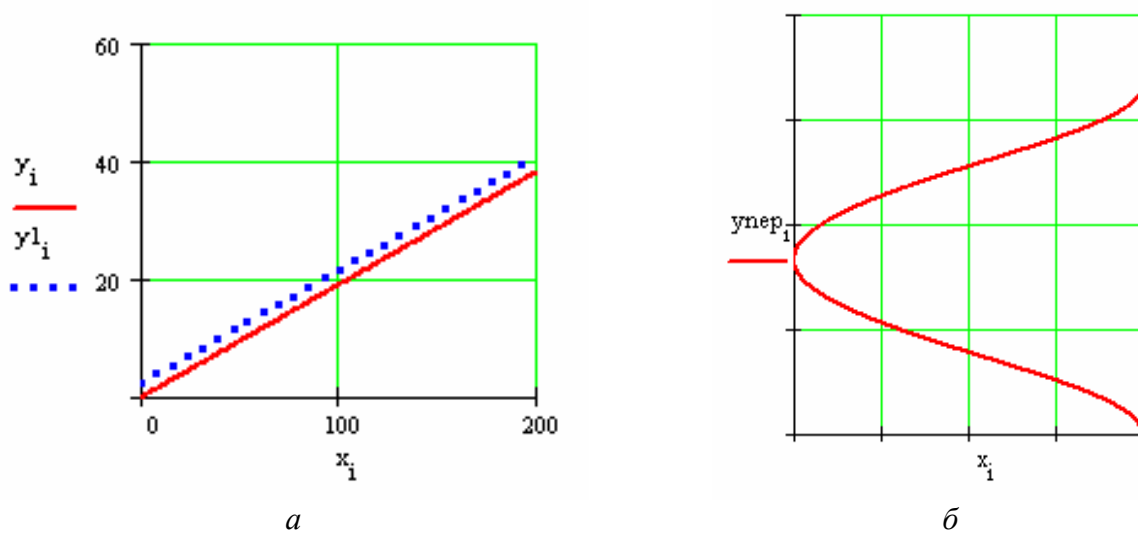


Рис. 2. Траектория режущего элемента (два движения) при технологической операции: *a* – пиление ленточными пилами; *б* – пиление бревен на лесопильных рамах

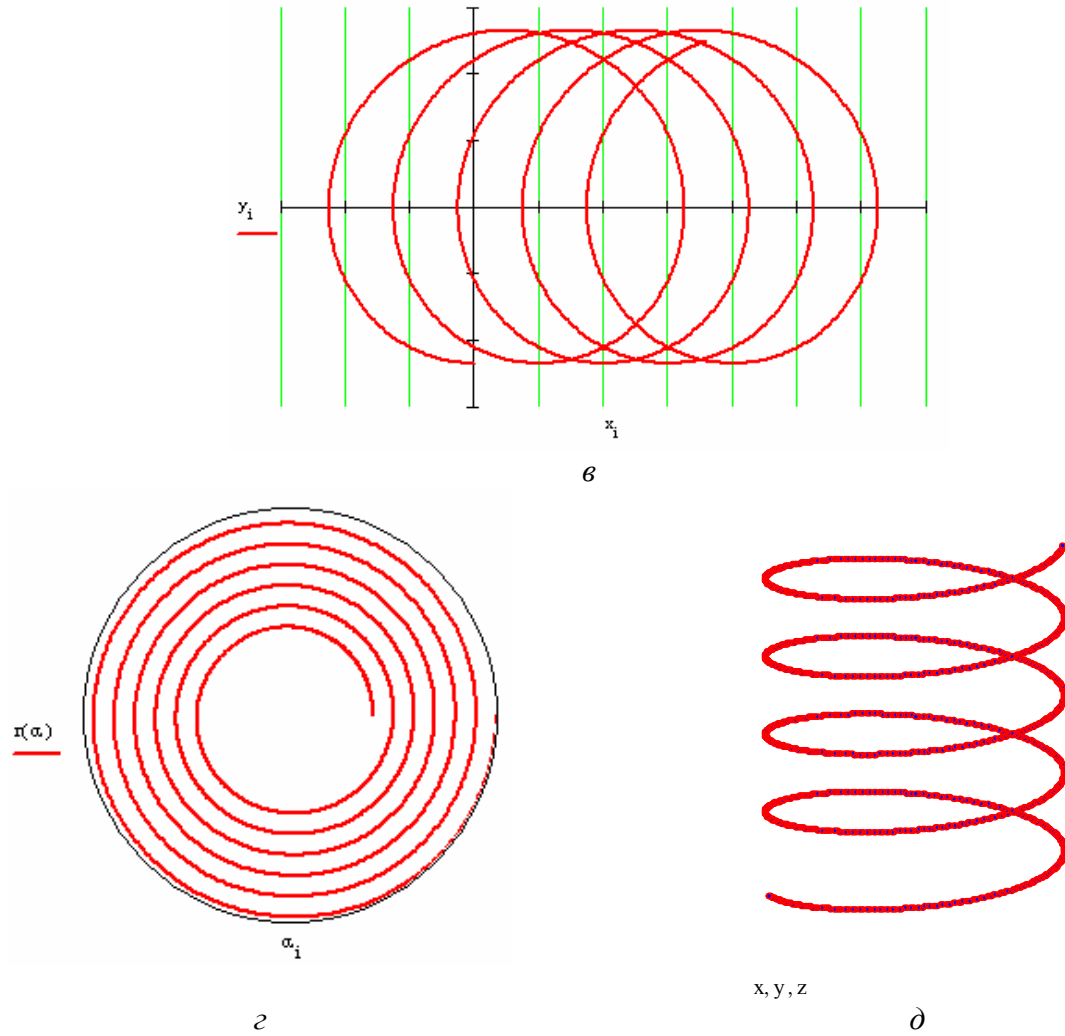


Рис. 2. Траектория режущего элемента (два движения) при технологической операции:  
 $\delta$  – фрезерование (пиление круглыми пилами);  $z$  – лущение (радиальное точение);  $\partial$  – сверление

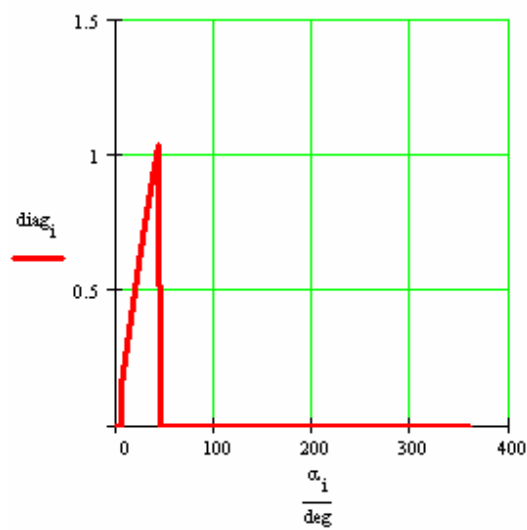


Рис. 3. График изменения толщины срезаемого слоя резцом от угла поворота инструмента

При известных параметрах срезаемого слоя можно вычислить силы или моменты сил полезного сопротивления в дискретные моменты времени при выполнении заданной технологической операции и далее построить нагрузочную диаграмму привода.

Для осуществления конкретных механических движений исполнительных органов применяют пневматические, гидравлические и электрические двигатели, которые являются основными элементами привода станка. В соответствии с функциональным назначением к каждому виду привода предъявляются свои специфические требования: обеспечение исходного положения, точности позиционирования, заданной скорости, устойчивости движения.

В системах программного управления механического типа для обеспечения синхронизации взаимосвязанных простых движений используется, как правило, групповой привод с разветвленными кинематическими цепями.

В станках с цифровым управлением для каждого простого движения привод выполняют индивидуальным автономным в виде отдельного агрегата, построенного по модульному принципу, с возможностью

стандартного сопряжения его с системой управления. В этом случае каждое простое движение с положительным или отрицательным направлением перемещения определяет собой рабочую ось управления движением. Поэтому станок можно рассматривать как набор элементарных осей управления с индивидуальными приводами, действующими автономно и связанными между собой общей системой управления станка.

Характеристики такого привода определяются не только локальными связями между отдельными элементами привода, но и в значительной степени алгоритмом работы общей системы управления станка, и, в свою очередь, влияют на построение этого алгоритма.

Основные компоненты станка с числовым программным управлением показаны на структурной схеме рис. 4. Станок включает в себя набор приводов (двигатели М и передаточные механизмы ПМ) с рабочими органами РО и блок силовой электроавтоматики ЭА для управления питанием двигателей. Блок электроавтоматики предназначен для усиления и размножения команд, поступающих на приводы исполнительных органов станка.

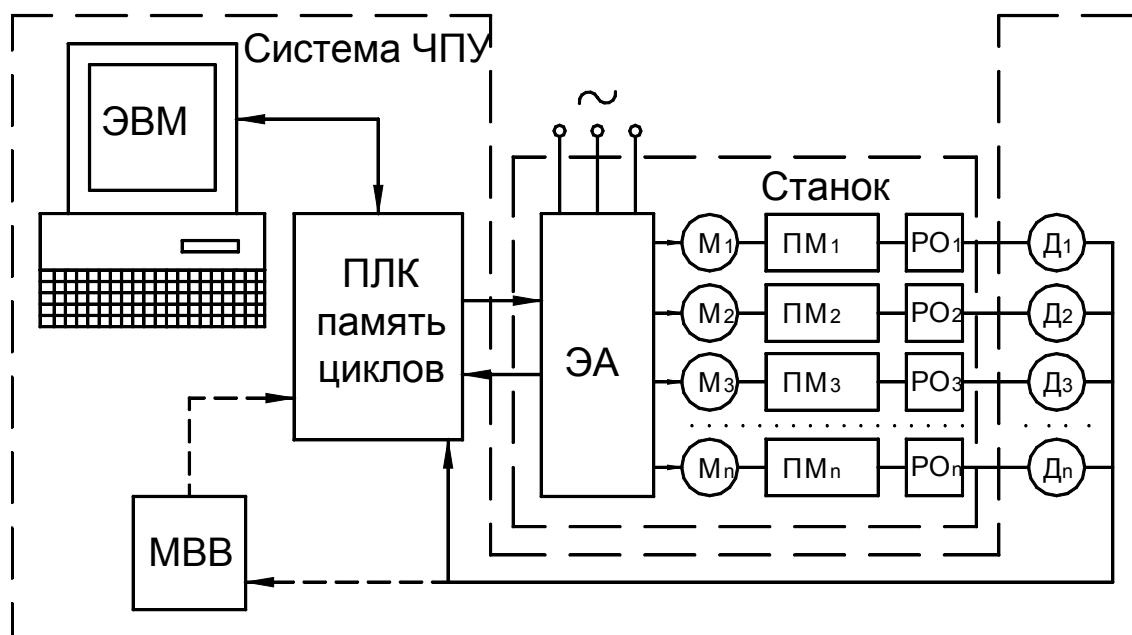


Рис. 4. Структурная схема станка с числовым программным управлением

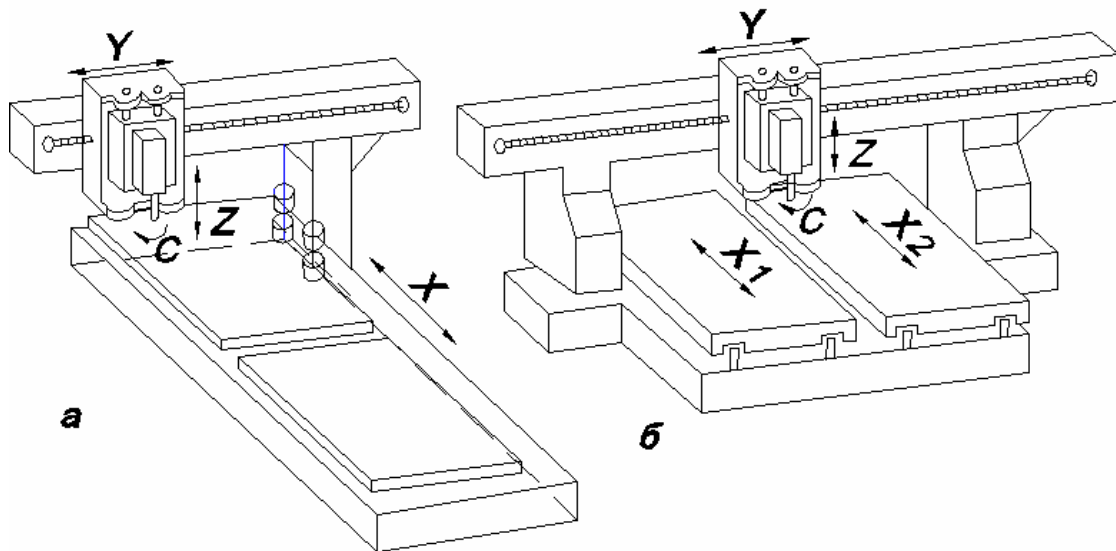


Рис. 5. Координатные компоновки обрабатывающих центров: а – консольного типа; б – портального типа

Система числового программного управления содержит: пульт управления с компьютером (ЭВМ) и периферийными устройствами, программируемый логический контроллер (ПЛК) и датчики Д. Для обеспечения связи удаленных датчиков с ПЛК и ЭВМ используют модули ввода– вывода (МВВ).

Из схемы видно, что число входов механической системы, обычно равное количеству двигателей, определяет общее число степеней подвижности станка. Выходными параметрами механической системы являются координаты рабочих органов станка.

Основными компонентами механической системы станка, обеспечивающими его технологическое назначение, являются «Несущая система», система «Инструмент» и система «Деталь».

Система «Инструмент» представляет собой группу функциональных элементов, обеспечивающих движение для закрепления, установки начального положения и всех других движений режущего инструмента.

Система «Деталь» – это набор средств и устройств, необходимых для правильной ориентации, закрепления и перемещения обрабатываемого изделия.

В качестве примера на рис. 5 приведены компоновки обрабатывающих центров консольного и портального типа.

Система «Инструмент» консольной компоновки (рис. 5, а) включает в себя состав формообразующих движений: одно вращательное движение  $C$  вокруг оси  $Z$  и три поступательных по осям  $XYZ$ . Система «Деталь» содержит два устройства (стола) для базирования и крепления двух деталей, которые в процессе обработки рабочих движений не имеют и остаются неподвижными.

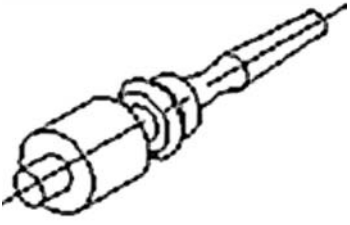
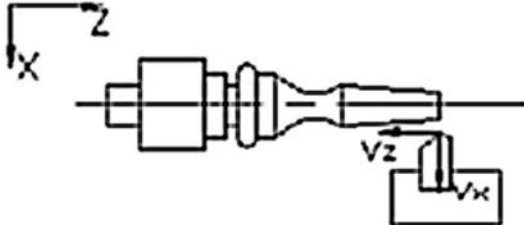
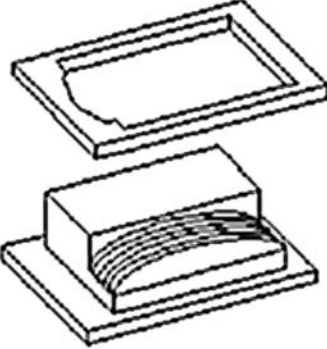
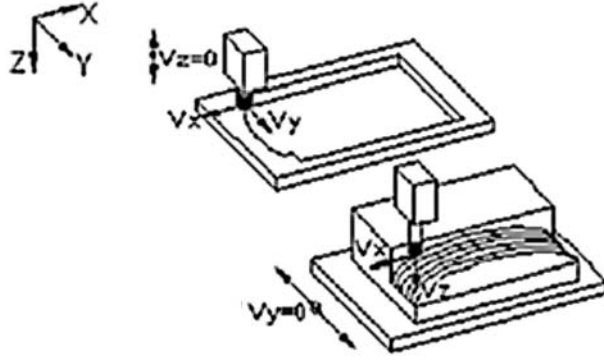

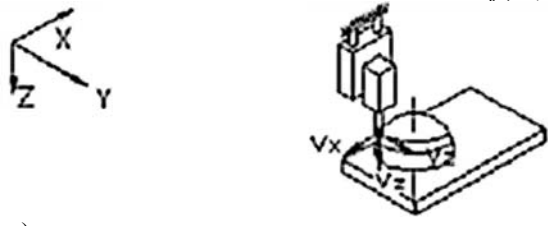

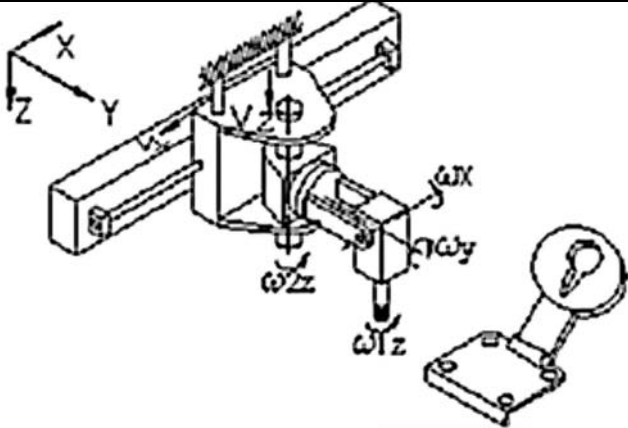
В станке с компоновкой портального типа (рис. 5, б) система «Инструмент» имеет вращательное  $C$  и два поступательных рабочих движения по осям  $YZ$ . Система «Деталь» включает в себя два подвижных стола с независимыми поступательными координатными движениями по оси  $X_1$  или  $X_2$ .

Рассмотренные компоновки имеют одинаковый состав формообразующих движений и, следовательно, аналогичное технологическое назначение. Однако функциональный принцип действия их различен, так как состав движений в системах «Инструмент» и «Деталь» не совпадает.

В станке с числовым программным управлением определенного технологического назначения различают общее число управляемых осей (координат) и число одновременно управляемых рабочих осей.

Общее число управляемых осей обычно равно количеству простых движений в станке, обеспечивающих весь набор возможных сочетаний этих движений.

Оси рабочих движений исполнительных органов и типы систем управления

Форма детали	Общее число рабочих осей $f()$ и число одновременно управляемых осей $f_c()$	Тип системы ЧПУ
	<p style="text-align: right;"><math>f(\omega_z, v_x, v_z)</math></p>  <p><math>f_c(v_x, v_z)</math></p>	2D
	<p style="text-align: right;"><math>f1(\omega_z, v_x, v_y)</math> <math>f2(\omega_z, v_x, v_y)</math></p>  <p><math>f_c1(v_x, v_y, v_z = 0)</math> <math>f_c2(v_x, v_y = 0, v_z)</math></p>	2,5D
	<p style="text-align: right;"><math>f(\omega_z, v_x, v_y, v_z)</math></p>  <p><math>f_c(v_x, v_y, v_z)</math></p>	3D
	 <p><math>f(\omega1_z, v_x, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega2_z)</math> <math>f_c(v_x, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega2_z)</math></p>	5D

*Число одновременно управляемых (взаимосвязанных) осей определяет возможность изготовления изделия сложной геометрической формы без перебазирования и характеризует тип системы управления (табл. 2).*

В зависимости от сложности траектории формообразующих движений и числа одновременно действующих осей управления в станке различают следующие типы систем ЧПУ:

*2D* – программируемое перемещение исполнительного органа вдоль двух осей станка;

*2,5D* – программируемое перемещение относительно трёх осей, однако рабочий орган может перемещаться одновременно за один цикл только относительно двух осей;

*3D* – оси управления позволяют задавать программным путём линейные перемещения одновременно по трем координатам. Данная система применяется при изготовлении сложных трехмерных профилей изделий, однако она не позволяет управлять углом наклона инструмента;

*5D*–пять осей управления обеспечивают возможность запрограммировать перемещение одновременно по пяти координатам, например, линейное перемещение по двум осям, и задать углы наклона инструмента относительно трёх осей системы шпинделя. Это позволяет обрабатывать объёмную деталь при непрерывном взаимодействии режущего инструмента с деталью без её перебазирования.

Выпускают станки, которые имеют 7 (*7D*) и более осей управления.

### **Выводы**

1. Приведенная классификация формообразующих движений дает первые ори-

ентиры выбора возможных вариантов реализации нужной технологической операции. В ряде случаев одна конкретная операция может быть выполнена различным составом формообразующих движений, и наоборот, один и тот же набор движений можно использовать для исполнения разнотипных операций.

2. Состав формообразующих движений определяет собой кинематическую структуру станка и характеризует сложность его конструкции. Формальная запись набора таких движений в виде функции несет в себе информацию о компоновке исполнительных органов станка в трехмерном пространстве и конструктивной идентичности механизмов привода исполнительных органов. Такое представление позволяет выявить пути повышения уровня внерядовой унификации (унификация узлов разнотипных станков) и шире использовать принципы модульного построения станков.

3. Параметрические уравнения движения являются основой при разработке вычислительных программ геометрического моделирования технологических операций и выбора конфигурации системы числового программного управления станками различного технологического назначения.

### **Библиографический список**

1. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов. –М.: МГУЛ, 2002. – 310 с.
2. Вольнский В. Н. Каталог деревообрабатывающего оборудования, выпускаемого в странах СНГ и Балтии. – М.: Изд-во «АСУ-Импульс», 2003. – 380 с.
3. Маковский Н.В., Амалицкий В.В., Комаров Г.А., Кузнецов В. М. Теория и конструкции деревообрабатывающих машин. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 608 с.

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ СТАНКА

В.И. КОРОТКОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, канд. техн. наук

При механической обработке для выполнения технологической операции требуются формообразующие движения резания и подачи, а также необходимые вспомогательные движения при наладке и настройке исполнительных (рабочих) органов станка. Для обеспечения движений служат разнообразные механизмы с преобразователями энергии (механические системы), взаимосвязанные системой управления.

По принципу действия системы программного управления различают механического типа и с использованием ЭВМ (числовое программное управление). Управление может быть полным, при этом достигается автоматизация всего цикла работы станка, или частичным, если автоматизируются только отдельные элементы цикла.

В системах *механического типа* для путевого управления приводом наладочные движения программируют во время расста-

новки вдоль пути движения передвижных упоров.

На рис. 1 приведена схема системы программного управления механического типа на основе барабана 2 с упорами 3, которые служат для ограничения крайнего положения рабочего органа 1. Рабочий – наладчик программирует работу станка заранее, регулируя выступы  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  упоров в виде винтов – ограничителей (механических программносителей) на заданные размеры обработки.

В процессе работы имеется возможность быстрой переналадки суппорта путем ручного или механизированного поворота барабана.

Суппорт перемещается и поджимается к упору под действием привода, например пневматического цилиндра. Информация о фактическом положении исполнительного органа отсутствует.

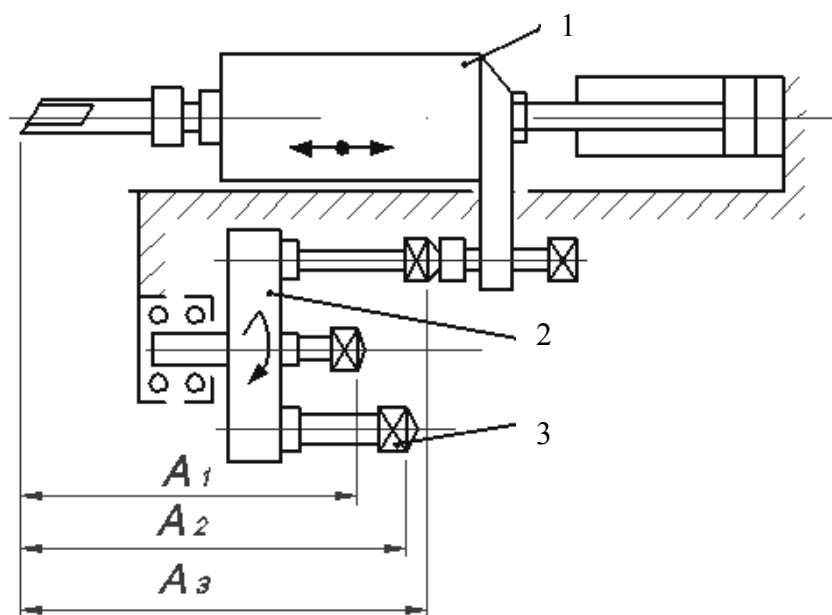


Рис. 1. Схема системы управления механического типа



В других механических системах управления приводом величину пути устанавливают передвижным конечным выключателем. Сигнал, подаваемый выключателем в конечной точке программируемого пути при наезде суппорта на упор-выключатель, характеризует выполнение программой перемещения в заданную позицию. При этом сигнал в кодированный вид не преобразуется, информация о фактическом положении рабочего органа для управления не используется, и управление осуществляется без обратной связи. В этом случае на точность перемещения в заданную точку существенно влияют время срабатывания управляющей аппаратуры и свободный выбег механической системы.

В механических системах управления со сложной траекторией движения в качестве программносителя используются модели-аналоги обработки в виде заранее запрограммированных профилей кулачков, установленных на общем распределительном валу. В этом случае профиль копира копировального устройства является физическим программносителем контурной системы управления.

Для непосредственного участия в управлении станком, в состав системы *механического типа* включены наладчик и оператор.

В системах *числового программного управления* наладчик не принимает непосредственного участия в процессе управления объектом. Функцию управления выполняют специальные устройства и средства обратной связи.

Для сравнения рассмотрим ручное управление механизмом настройки станка, функциональная схема которого приведена на рис. 2, а. Механизм настройки совместно с рабочим органом образуют механическую систему, которая предназначена для позиционирования рабочего органа в заданное положение, характеризуемое настроечным размером  $h$ . Наладчик визуально наблюдает показание указателя измерительного устройства, получает информацию  $y_t$  о текущем положении рабочего органа (инструмента), и, оценивая погрешность размера разностью

$h - y_t$ , выступает в качестве датчика обратной связи.

Кроме того, наладчик выполняет в данной системе управления функции регулятора и одновременно приводит в действие исполнительное устройство. Качество выполнения этих действий определяется степенью тренированности и прилежания наладчика. В терминах системы автоматического управления разность, полученная в сумматоре между желаемым (заданным)  $h$  и действительным размером  $y$ , называется *ошибкой* системы.

В системах *числового программного управления* управляющая информация представляется в виде последовательности цифровых сигналов – дискретных электрических или оптических импульсов высокой частоты.

В данном случае объектом управления является рабочий орган, входящий в механическую систему вместе с усилителем мощности (преобразователем), двигателем и передаточным механизмом (рис. 2, б). Устройство программного управления включает в себя ЭВМ, программируемый контроллер и датчик обратной связи.

Выбор характеристик каждого конкретного привода зависит, прежде всего, от способа управления движениями исполнительных органов и от принципа построения общей системы управления станком.

При обосновании выбора системы управления станком решают следующие частные задачи:

1. Управление (программирование) исходных положений.
2. Управление движениями исполнительных органов станка.
3. Управление вспомогательными командами и циклами обработки.

Способы решения частных задач управления приводами определяют общую сложность системы управления и в конечном итоге степень автоматизации станка.

С целью систематизации и упрощения процесса управления разнообразными движениями в станке используют различные системы прямоугольных координат и связанные с ними начала отсчёта (рис. 3).



Рис. 2. Функциональная схема системы с управлением: а – ручным; б – числовым программным с помощью ЭВМ

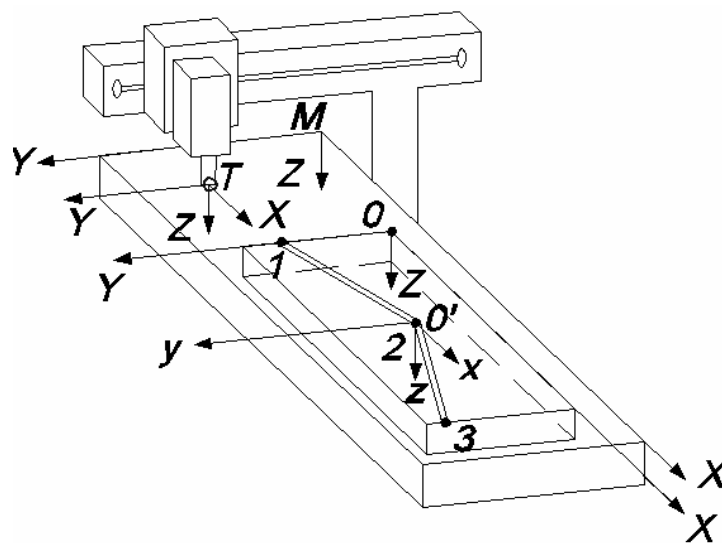


Рис. 3. Типы систем координат

*Абсолютная система координат.* Абсолютную систему координат  $MXYZ$  с началом в фиксированной точке  $M$  (нуль станка) трёхмерного пространства задаёт конструктор при проектировании станка. Координаты точки  $M$  используют для определения исходных параметров каждого исполнительного органа при составлении технических данных станка. Относительно этой точки производится настройка и калибровка положения всех исполнительных органов, а также их установка (парковка) в начальное нулевое положение при работе станка.

*Система координат инструмента.* В станках, где режущий инструмент совершает главное движение резания, система координат считается основной, относительно которой преобразуют движения подачи и другие вспомогательные движения.

Условно считают деталь всегда неподвижной, а её возможное движение придают инструменту, причём направление движения инструмента изменяют в противоположную сторону.

За начало системы координат  $TXYZ$  инструмента принимают точку  $T$ , построенную на опорных поверхностях держателя инструмента при его креплении в станке. Направление и наименование координатных осей, по которым перемещаются рабочие органы станка, управляемые по программе, нормированы международным стандартом *ISO*. Ось вращения шпинделя, который передает активную силу на заготовку, обозначают буквой  $Z$ , независимо от того, вращает шпиндель инструмент или заготовку.

Ось  $X$  ориентируют горизонтально. За положительное направление движения по осям принимается направление движения, при котором увеличивается расстояние между заготовкой и держателем инструмента. Положительное направление движения по оси  $Y$  должно быть выбрано в зависимости от направления по осям  $X$  и  $Z$  для получения *правой* декартовой системы координат.

Возможные линейные перемещения режущего инструмента в станке по координатным осям  $XYZ$  обозначают буквами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , а вращение вокруг осей  $XYZ$  или осей, па-

раллельных им, соответственно  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Кроме перемещений по основным координатным осям, возможны линейные перемещения и вращения относительно вторичных осей  $UVW$ , параллельных основным.

*Внешняя система координат обрабатываемой детали.* Эта система координат  $OXYZ$  связана с деталью, причём направления её координатных осей совпадают с направлениями соответствующих осей в абсолютной системе координат станка  $MXYZ$ . Внешнее начало координат детали можно изменять, задавая способы её ориентации и величину смещения относительно базирующего устройства станка, координатная система которого построена на характерных точках рабочего пространства станка. Такими точками служат установочные элементы, обеспечивающие правильное базирование и крепление объекта обработки в станке (рис. 4).

Для определения исходного положения детали относительно *системы координат базирующего* устройства углы прямоугольной детали нумеруют в порядке: 1– верхний левый; 2– нижний левый; 3– нижний правый; 4– верхний правый.

Возможны следующие варианты базирования детали.

1. Система координат детали совпадает с началом координат базирующего устройства (прямая обработка), (рис. 4, *а*). Положение исполнительного органа программируется точкой с координатами  $p(x, y)$ .

2. Система координат базирующего устройства повернута и смещена вправо (прямая обработка с перемещением) (рис. 4, *б*). Положение исполнительного органа определяется точкой с координатами  $p(-L+x, y)$ .

3. Система координат детали повернута относительно оси  $Y$  и смещена вправо (зеркальная обработка) (рис. 4, *в*). Положение исполнительного органа программируется точкой с координатами  $p(L-x, y)$ .

4. Системы координат детали и базирующего устройства повернуты относительно оси  $Y$  и смещены (зеркальная обработка с перемещением) (рис. 4, *г*). Программное положение исполнительного органа определяется точкой с координатами  $p(x, y)$ .

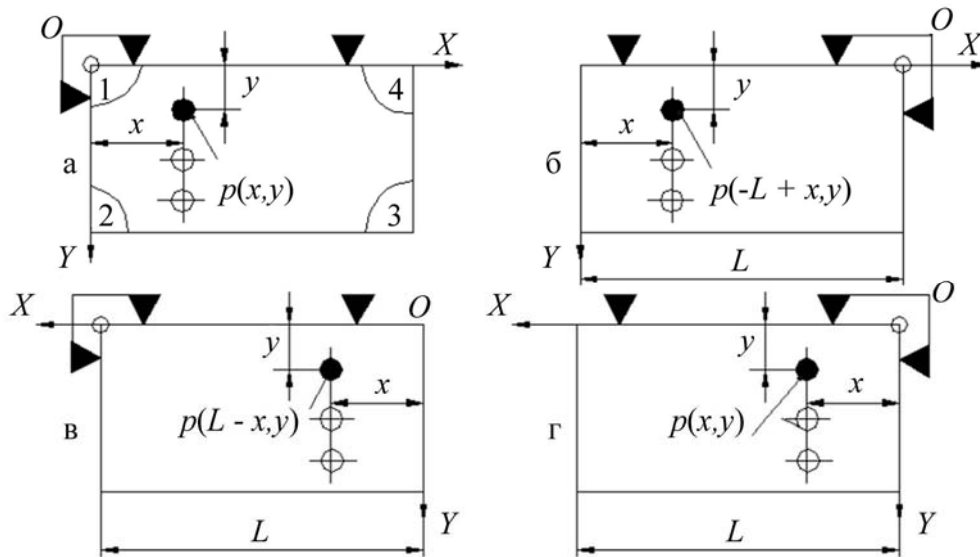


Рис. 4. Ориентация детали относительно базировочного устройства: а – прямая; б – прямая с перемещением по оси X; в – зеркальная; г – зеркальная с перемещением по оси X

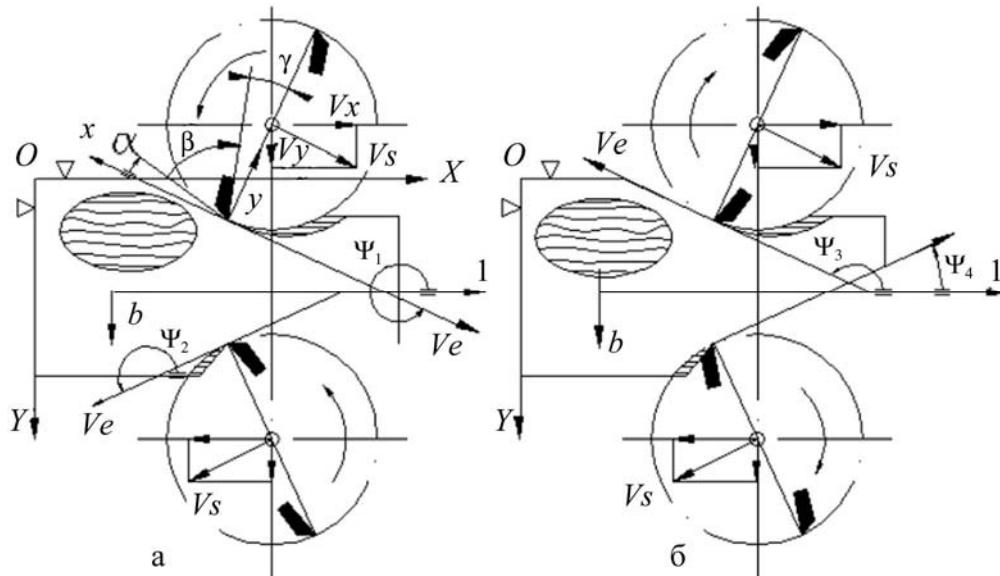


Рис. 5. Геометрическое построение угла встречи реза с волокнами древесины: а – при встречной подаче; б – при попутной подаче

В соответствии с желаемой схемой обработки при программировании можно выбрать вариант базирования детали из имеющегося списка. По известному коду вариант автоматически выполняет преобразование данных в координаты, которые однозначно определяют положение детали в абсолютной системе координат станка. Такая модель преобразования систем характерна для обработки изотропных с однородным строением материалов.

Из теории резания древесины известно, что обрабатываемость древесины, как материала с волокнисто-слоистой структурой строения, существенно различается по трём взаимно перпендикулярным направлениям. При назначении режимов резания специфические свойства древесины учитывают так называемым углом «встречи» реза с волокнами. Величину угла встречи обычно определяют по приближенным формулам, и этот параметр обычно не используют в каче-

стве переменной управления. В случае программного управления скоростью подачи требуется уточненное понятие угла встречи и математическая модель его автоматического вычисления.

Геометрическое построение угла встречи рассмотрим вначале в двумерном пространстве на примере встречного и попутного фрезерования (рис. 5).

При встречном фрезеровании в точке входа резца (рис. 5, а) направление вектора скорости главного движения  $v$  совпадает с направлением подачи  $v_s$  инструмента, и результирующая скорость равна  $v_e$ .

Введем локальную систему  $x_{yz}$  с началом координат в вершине резца. Ориентация системы в пространстве определяется направлением движения резца в древесине. Ось  $x$  направлена в сторону, противоположную направлению вектора результирующей скорости  $v_e$ . Две другие оси направлены так, что образуют правую декартову систему координат. В такой системе координат угловые параметры резца – задний угол  $\alpha$ , угол заострения  $\beta$  и передний угол  $\gamma$  – имеют традиционное обозначение, принятое в теории резания.

Введем глобальную систему координат  $lzh$  волокнисто – слоистой структуры древесины, совпадающую с внешней системой координат детали  $OXYZ$ . Система координат структуры древесины связана с направлением волокон древесины, и её координатные оси соответственно направлены:

$l$  – вдоль волокон;  $b$  – поперек волокон в тангентальном направлении;

$h$  – поперек волокон в радиальном направлении.

Эти направления совпадают с главными видами резания: продольным, поперечным и торцовым.

При обходе выпуклого контура обработки по часовой стрелке угол встречи в декартовой плоскости  $XU$  изменяется в соответствии с таблицей.

При обработке сложного контура детали движение подачи  $v_s$  осуществляется одновременно по двум осям соответственно со скоростью  $v_x$  и  $v_y$ . Соотношение этих составляющих определяет величину угла встречи с волокнами,  $\psi = f(v_x, v_y)$ . С другой стороны, из теории резания известно влияние угла встречи на шероховатость  $Rm_{max}$  получаемой поверхности,  $\psi = f(Rm_{max})$ . Используя указанное соотношение, можно определить для заданной шероховатости текущий угол встречи резца с волокнами при обработке сложного контура изделия. Далее, в зависимости от расчётной величины угла, выполнять в процессе обработки коррекцию скорости движения по каждой интерполированной оси управления.

Когда деталь при базировании ориентируют с поворотом на плоскости и волокна древесины располагают под углом к её внешней координатной системе, требуется преобразование координат в двумерном пространстве на плоскости. При повороте детали на угол  $\theta$  по часовой стрелке скорректированное значение угла встречи равно

$$\psi_k = \psi + \theta.$$

Для деталей сложной объемной формы существует множество вариантов ориентации волокон в трёхмерном пространстве базирующего устройства станка.

Т а б л и ц а

Квадрант	Угол встречи $\psi$ , град			
	встречная подача		попутная подача	
1	360 ... 270	по волокнам	180...90	против волокон
2	270... 180	против волокон	90...0	по волокнам
3	180...90	по волокнам	360 ...270	против волокон
4	90...0	против волокон	270... 180	по волокнам
Резание продольное $\psi = 0, 180$ и $360$ ; Резание в торец $\psi = 90$ и $270$ .				

В общем случае для автоматического пересчета координат при повороте и параллельном переносе локальной системы относительно глобальной системы координат используют операцию линейного преобразования координат в матричном виде

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}; \quad T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & a_1 \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & a_2 \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где  $x', y', z'$  – координаты точки в локальной системе координат;

$x, y, z$  – координаты той же точки в глобальной системе координат;

$T$  – матрица линейного преобразования координат в трёхмерном пространстве.

*Внутренняя система координат.* Эта локальная система координат необходима для определения текущего положения инструмента и детали в процессе её обработки. При геометрическом моделировании контур обрабатываемого изделия задаётся координатами характерных точек, называемых *опорными*. Эти точки определяют траекторию относительного движения инструмента и детали.

В начальный момент по умолчанию внутренняя система координат совпадает с внешней системой обрабатываемой детали. Далее возможны два способа отображения (идентификации) текущего положения инструмента: абсолютный и относительный.

Абсолютный отсчет размера ведется от начала внешней системы координат  $OXYZ$  обрабатываемой детали (рис. 3). При этом текущий абсолютный размер вычисляется автоматически путем преобразования локальной координаты.

Во втором случае отсчет текущей координаты инструмента вычисляется как расстояние от предыдущей запрограммированной опорной точки, принятой за начало локальной внутренней системы координат  $o'xuz$  (рис. 3). Внутреннее начало эквивалентно переносу системы координат на один шаг от предыдущей опорной точки 1 к следующей точке 2 контура детали.

Все виды управления движениями можно рассматривать по отношению ко всему циклу автоматической работы станка или по отношению только к отдельным элементам цикла, к отдельным переходам обработки.

При программном управлении движениями применяют группу инструкций, которую обозначают в соответствии с международным стандартом буквой  $G$  и называют «Подготовительная функция».

$G$ -инструкции указывают на необходимость совершения пошагового перемещения рабочих органов или метод интерпретации некоторых программных данных и передачи их в программируемый логический контроллер.

По виду связи с общей системой управления законы движения исполнительных органов могут быть независимыми друг от друга или взаимосвязанными.

*Управление независимым движением.* Перемещение исполнительного органа по одной оси (координате), независимое от установленной скорости перемещения по другим рабочим осям, называют *позиционированием*.

Позиционирование может выполняться при двух режимах работы: наладочном и процессе обработки при взаимодействии режущих элементов (зубьев) инструмента и заготовки.

При наладке выполняют позиционирование до процесса обработки с последующей фиксацией исполнительного органа в заданном положении. Например, проводится установка сверлильного агрегата обрабатывающего центра в другое положение для последующей операции сверления. Специфичным в этом случае является обеспечение точности остановки агрегата в заданной позиции. Наибольшую скорость в наладочном режиме назначают из условия требуемой точности настроечного размера и удобства работы оператора при ручном управлении.

При программном управлении этот режим устанавливают инструкцией типа  $G0$ , которая становится активной в начале выполнения программы.

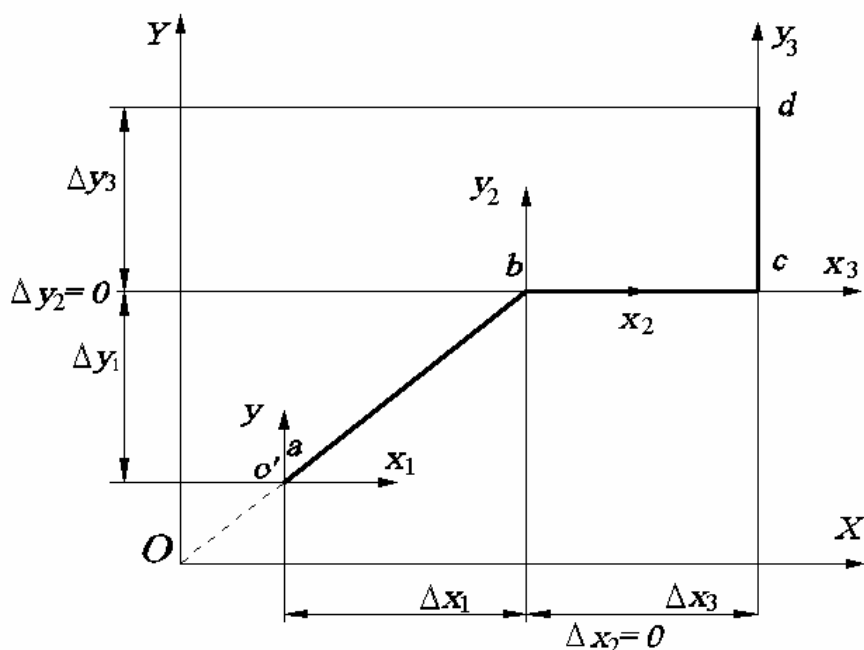


Рис. 6. Перенос системы координат

Позиционирование в процессе обработки – это перемещение по рабочей оси станка из данной точки в следующую опорную точку, координаты которой заданы на очередном шаге управляющей программы. Движения по разным осям независимы между собой, поэтому скорость по данной оси не зависит от положения и скорости движения по другим осям.

Процесс позиционирования состоит из двух этапов: подготовительной фазы и исполнительной.

Подготовительная фаза позиционирования заключается в проверке состояния всех рабочих осей и установления факта перевода их в другую позицию. При необходимости такого перевода поступает команда на перенос внутренней системы координат и обновление координаты начала отсчета для данной оси. Эта команда не вызывает перемещение по данной оси, пока не поступит другая инструкция на выполнение движения и изменение положения по этой оси. Исходной информацией для позиционирования являются координаты конечной опорной точки траектории движения на обрабатываемом отрезке пути.

Предположим, что необходимо выполнить движение исполнительного органа последовательно в точки  $a, b, c, d$  (рис. 6).

Отработку шага для отрезка ведут от начальной точки  $a$  к точке  $b$ . Исходной информацией для системы управления являются не координаты точек обрабатываемого отрезка  $(x_a, x_b, y_a, y_b)$  в системе координат  $OXY$ , а разность координат конечной  $b$  и начальной  $a$  точек отрезка, т. е. приращения по координатам:

$$\Delta X_1 = x_b - x_a; \Delta Y_1 = y_b - y_a.$$

Это тождественно тому, что для каждого отдельного отрезка (участка траектории) устанавливают свою внутреннюю систему координат  $ox_1 y_1$ . Начало этой системы координат совпадает с началом обрабатываемого отрезка траектории, т. е. новые координаты начала отрезка  $a(x_1 = 0, y_1 = 0)$ , а координаты конца отрезка

$$b(x_2 = \Delta X_1, y_2 = \Delta Y_1).$$

Для заданной геометрической формы детали число относительных систем координат равно числу участков (опорных точек) траектории.

Величина относительного смещения (инкрементальное перемещение) начала отсчёта задаётся в управляющей программе специальной инструкцией.

Очередной шаг позиционирования считается выполненным и в ПЛК подается соответствующий сигнал, если для каждой из осей, по которым выполнялось перемещение, расстояние до точки назначения стало меньше величины, установленной в управляющей программе.

Условие независимости простых движений позволяет организовать циклы позиционирования по одной или нескольким осям и осуществлять их асинхронно (параллельно) по отношению к выполнению управляющей программы. Однако, используя специальную инструкцию, можно синхронизировать выполнение отдельных циклов и команд до завершения предыдущих команд, относящихся к позиционированию по данной оси (установление скорости, ускорения, величины упреждения или запаздывания).

В некоторых случаях бывает целесообразно заранее объявить шаг позиционирования выполненным и подать упреждающий сигнал. Параметр «упреждение позиционирования» записывают в специальной инструкции, где указывают расстояние до точки назначения меньше действительного значения на величину упреждения.

Для повышения точности позиционирования используют систему числового программного управления с *обратной связью по положению*. Такая система позволяет выполнить движение с затухающей или сниженной скоростью при приближении к конечной точке. Для определения места снижения скорости требуется датчик положения. Он постоянно контролирует положение и перемещение исполнительного органа.

На каждый импульс, вырабатываемый интерполятором, привод соответствующей оси управления осуществляет единичное перемещение в зависимости от величины дискреты. Например, для того чтобы переместиться по координате на 10 мм при

дискрете 0,01 мм, интерполятор должен выдать 1000 импульсов.

Единственная обратная связь по положению не позволяет получить переходной процесс высокого качества (малой длительности и при отсутствии колебаний). Поэтому используют дополнительную обратную связь для применения корректирующих сигналов. Такие сигналы получают от имеющегося датчика положения, либо от дополнительного датчика скорости.

Позиционирование в процессе обработки производится также в случае, когда траектория движения параллельна направляющим перемещения исполнительного органа. В таком случае движение по оси не взаимосвязано с движениями по другим осям, которые должны быть «зафиксированы». Процесс фиксации осуществляется цифровой системой путем подачи управляющих импульсов на привод фиксируемых осей управления. При этом погрешность фиксации не должна нарушать технологическое требование обеспечения заданного качества обработки.

**Управление взаимосвязанными движениями.** При простом формообразовании движение резания и движение подачи осуществляется независимо поочередно или одновременно. Так, например, обработка материала на четырёхстороннем продольно-фрезерном станке производится при подаче, не связанной системой управления станка со скоростью вращения режущих инструментов.

Подача на один оборот инструмента в данном случае является законом формообразования. Однако согласование скорости резания и скорости подачи выполняют обычно вручную до обработки с целью подбора рационального режима резания и заданной шероховатости поверхности.

Для обработки деталей сложной формы используют несколько простых движений, которые должны быть строго согласованы между собой во времени. Для обеспечения траектории сложного движения предназначена *контурная система* программного управления.



Перемещение исполнительного органа по данной оси управления, взаимосвязанное (коррелированное) с перемещениями по другим осям, совместно определяющим траекторию суммарного движения, называют *интерполяционным* перемещением.

Интерполяционные перемещения позволяют программировать траекторию на плоскости и в трёхмерном пространстве. Желаемая траектория движения представляется в виде числовой последовательности, которая определяет только опорные точки траектории. В промежутках между опорными точками инструмент может перемещаться по траектории, несколько отличной от заданной траектории.

Однако можно задать такое количество опорных точек, при котором отклонения фактической траектории от требуемой будут меньше заданной величины и деталь будет обработана с необходимой точностью формы контура. Управляющая программа в данном случае определяется числом сигналов и изменением этого числа с течением времени, т. е. по мере перемещения исполнительного органа.

Принцип управления движением рабочих органов на заданном шаге программы определяется способом создания модели суммирования простых движений: линейной, круговой или кривой более высокого порядка. Для получения управляющих сигналов применяют специальное устройство контурной системы программного управления – *интерполятор*.

При моделировании траектории движения часто используют линейную интерполяцию методом оценочной функции (рис. 7).

После ввода очередного шага управляющей программы координаты конечной (опорной) точки *b* участка обрабатываемого контура (отрезок *ab*) становятся известными.

При линейной интерполяции с целью определения знака оценочной функции решается уравнение прямой

$$f_{ij} = y_j x_k - x_i y_k,$$

где  $x_i, y_j$  – текущие координаты точки траектории в импульсах;

$x_k, y_k$  – заданные в импульсах приращение координат, т. е. перемещение рабочего органа в данном одном шаге управляющей программы.

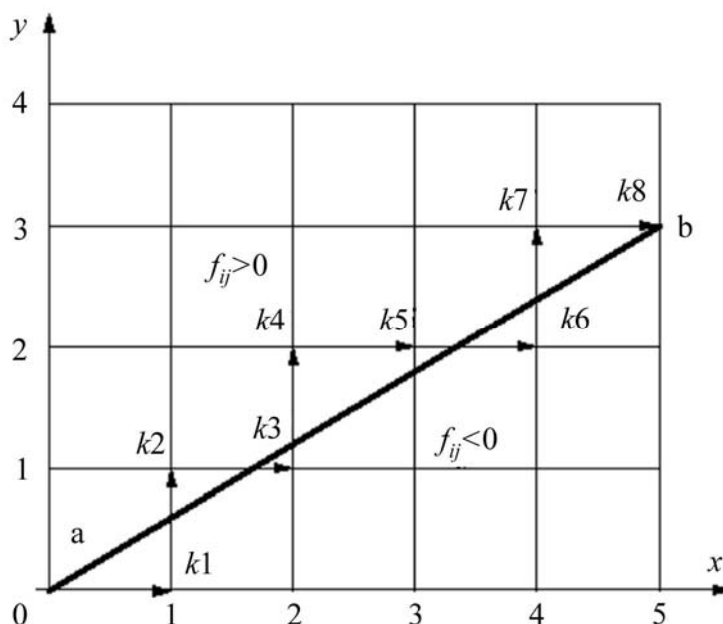


Рис. 7. Линейная нтерполяция при движении на отрезке прямой

Текущие значения знака оценочной функции вычисляются следующим образом. Интерполируемая прямая  $ab$  разделяет плоскость  $xу$  на две области:  $f_{ij} > 0$  (где значение оценочной функции положительно) и  $f_{ij} < 0$  (где значение оценочной функции отрицательно). Область  $f_{ij} > 0$  находится над прямой, область  $f_{ij} < 0$  – ниже её, интерполируемый отрезок  $ab$  прямой представляет собой область, где  $f_{ij} = 0$ .

Если промежуточная точка траектории интерполяции (например, точка с координатами  $x_1, y_1$ ) находится в области  $f_{ij} < 0$ , то следующий шаг (перемещение на одну дискрету) дается по оси  $x$ . Если же промежуточная точка траектории, например точка с координатами  $x_2, y_1$ , находится на области  $f_{ij} < 0$ , то следующий шаг дается по оси  $y$ .

Поскольку работа происходит в относительной системе координат, начало интерполируемого отрезка (точка  $a$ ) всегда находится в начале внутренней системы координат и имеет координаты  $x_0 = 0; y_0 = 0$ .

Так как начальная точка находится в области  $f_{ij} = 0$ , первый шаг по умолчанию делается по оси  $x$  в точку  $k_1$  с координатами  $x_1 = 1; y_1 = 0$ . Эта точка находится в области  $f_{ij} < 0$ , поэтому следующий шаг делается по оси  $y$  в точку  $k_2$  с координатами  $x_1 = 1; y_1 = 1$ . Эта точка находится в области

$f_{ij} > 0$ , и следующий шаг делается по оси  $x$  в точку  $k_3$  с координатами

$x_2 = 2; y_1 = 1$ . Шаги делаются дискретно (с частотой, определяемой блоком задания скорости) до тех пор, пока траектория интерполяции не достигнет конца отрезка (точку  $k_8$ ) с координатами  $x_k, y_k$ .

Если интерполируемый отрезок совпадает с осью  $x$  (т. е.  $y_k = 0$ ), траектория интерполяции совпадает с самим отрезком и не выходит из области  $f_{ij} = 0$ . Такой режим называется позиционированием, так как движение по оси  $y$  отсутствует.

Если интерполируемый отрезок совпадает с осью  $y$ , то первый шаг по оси  $x$  не выполняется, функция  $f_{ij} = 1$  и рабочий орган по оси  $x$  не перемещается.

Для каждой последующей промежуточной точки оценочная функция  $f_{ij}$  зависит

от вычисляемых предыдущих промежуточных координат  $x_i, y_j$  и координат  $x_k, y_k$  конечной точки интерполируемого отрезка.

При шаге по оси  $x$  координата  $y$  текущей точки траектории интерполяции не меняется, а координата  $x$  увеличивается на единицу, т. е.  $x_{i+1} = x_i + 1$ . Например, при шаге по этой оси из точки с координатами  $x_i, y_j$  в точку с координатами  $x_{i+1}, y_j$  оценочная функция

$$\begin{aligned} f_{i+1j} &= y_j x_k - x_{i+1} y_k = y_j x_k - (x_i + 1) y_k = \\ &= y_j x_k - x_i y_k - y_k. \end{aligned}$$

Но величина  $y_j x_k - x_i y_k = f_{ij}$ , поэтому  $f_{i+1j} = f_{ij} - y_k$ .

По аналогии, при шаге по оси  $y$  координата  $x$  не меняется, а координата  $y$  увеличивается на единицу, т.е.  $y_{j+1} = y_j + 1$ , и оценочная функция на очередном шаге будет равна  $f_{ij+1} = f_{ij} + x_k$ . Поскольку начальное значение оценочной функции равно нулю, все ее последующие значения определяются только с помощью величин  $x_k$  и  $y_k$ . При этом знак оценочной функции, получившейся в результате очередного шага, определяет направление следующего шага.

Алгоритм управления построен так, что после передачи первого сигнала от интерполятора на соответствующий привод исполнительный орган переместится на величину дискретности, например 0,01 мм. Следующий импульс для другой промежуточной точки обрабатываемого контура поступит на тот привод, который переместит исполнительный орган и создаст суммарное движение по траектории, приближенной к кривой, заданной интерполяционным уравнением.

При таком последовательном способе суммирования движений результирующее перемещение приблизительно соответствует требуемой траектории формообразующего движения на плоскости внешней системы координат  $XУ$ , а возникающая погрешность не превышает величины, равной дискретности задания перемещения.

Для криволинейных участков траектории в виде дуги окружности оценочная функция в промежуточных точках обраба-

тываемого контура определяется уравнением окружности

$$f_{ij} = x_i^2 + y_j^2 - R^2,$$

где  $R$  – радиус интерполируемой дуги.

Алгоритм круговой интерполяции построен по аналогичным, для линейной интерполяции циклам рассмотренным выше. Принципиальное отличие заключается лишь в том, что требуется учитывать направление движения по окружности для каждого из четырёх квадрантов.

При интерполированном движении важно не только обеспечение точности перемещения в заданную точку, но и траекто-

рия перехода в неё. Такой траекторией может быть отрезок прямой, дугой окружности или эллипса, дугой винтовой линии.

Например, для детали с контуром в виде ломаной линии и участками с изломами (углами сопряжения) в точках 1, 2, 3 на плоскости  $XU$  (рис. 8, а) можно реализовать движения инструмента следующими способами.

1. Замедление скорости и остановка вблизи очередного угла сопряжения участков линии с ожиданием момента, когда перемещение всех других рабочих осей достигнет позиции с заданным допуском (рис. 8, б).

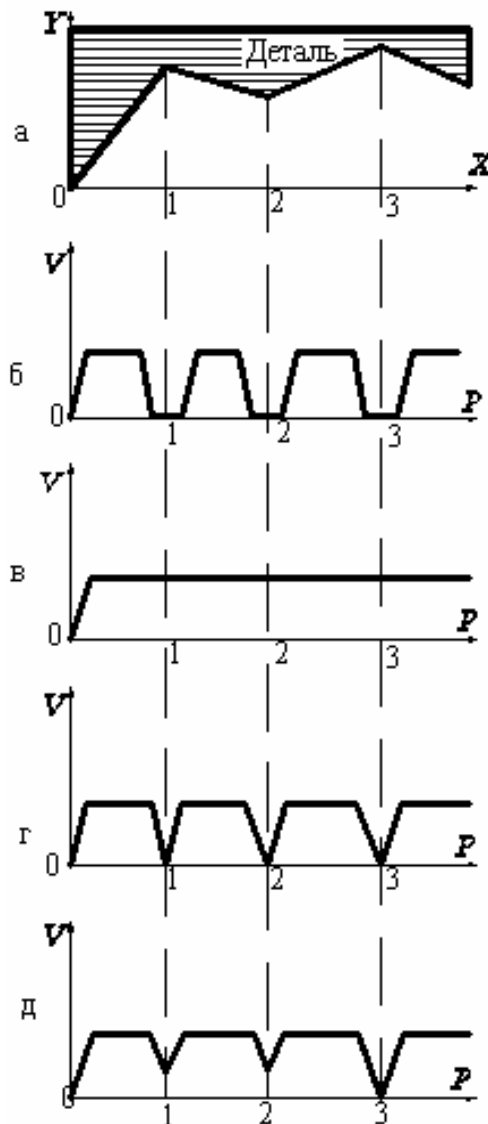


Рис. 8. Диаграммы скорости движения инструмента: а – контур обрабатываемой детали; б, в, г, д – законы изменения скорости; р-ось управления

Этот динамический управляемый закон движения на каждом отрезке ломаной линии включает в себя разгон, установившееся движение, торможение и ожидание. Такой режим гарантирует наибольшую точность траектории, так как исключает влияние ступенчатого изменения скорости движения других взаимосвязанных (интерполированных) осей. Режим является основным (код инструкции G46) и задается по умолчанию. Этот режим используется также в случае независимых движений по другим осям при позиционировании исполнительных органов.

2. Номинальная скорость рабочих осей установлена заранее (рис. 8, в). Вблизи точек излома контура обработки скорость не подлежит управлению (инструкция G47). Однако действительная скорость дискретно изменяется в точке излома линии, и величина скорости зависит от угла поворота траектории. Точность траектории определяется правильным выбором коэффициента усиления обратной связи по скорости.

3. Управление замедлением скорости с остановкой вблизи очередного угла сопряжения участков траектории, но без ожидания момента, когда реальные координаты всех взаимосвязанных осей достигнут установленного позиционного допуска (рис. 8, з). Данный режим управления (инструкция G27) гарантирует продолжительность по точкам отсчета скорости, но не геометрическую точность траектории. Режим может быть использован, когда деталь с инструментом не взаимодействуют и его остановка происходит вне зоны обработки.

4. Замедление скорости вблизи очередной точки поворота траектории, но без остановки в этой точке (рис. 8, д). Этот закон движения является компромиссным между первым и вторым законами. Установленные ранее скорости движения взаимосвязанных осей подлежат управлению в зависимости от угла сопряжения линейных участков траектории (инструкция G28). При этом законе возможны следующие случаи управления.

а) Скорость вблизи точки поворота пропорциональна углу сопряжения линейных участков в интервале от 0 до 180 градусов (инструкция G28, режим 0).

б) Скорость вблизи точки поворота определяется в зависимости от скорости на предыдущем участке контура и величины угла поворота к следующему участку (инструкция G28, режим 1). Рабочую скорость выбирают по минимуму из двух сравниваемых скоростей на предыдущем и следующем участках контура,  $v = \min(v_{i+1}, v_i)$ . При повороте траектории на угол  $180^\circ$ , скорость равна нулю,  $v = 0$ .

в) Скорость вблизи точки поворота замедляется в зависимости от рабочей скорости (в процентах) на предыдущем участке контура. Например, инструкция G28, режим 2,  $p = 20$  задает замедление скорости на 20 %,  $v = p \cdot v_{i+1} = 0,2v_{i+1}$ .

г) Рабочая скорость рассчитывается цифровой системой управления с учётом пути (времени) переходного процесса вблизи точки поворота траектории. Расчёт выполняется по заданному минимальному расстоянию до точки поворота, так чтобы гарантировалась желаемая точность контура детали. Для выполнения этого режима необходимо иметь динамические характеристики механической системы (моменты инерции движущихся масс, коэффициенты демпфирования и жесткости упругих связей элементов кинематики) каждой рабочей оси управления.

Наибольшая скорость интерполированного перемещения на заданном шаге программы при обработке зависит от желаемого качества обработки (режима резания) и параметров станка. Наибольшую скорость интерполированного перемещения целесообразно назначать с учётом слоистой волокнистой структуры древесины. Переменной управления скорости может служить угол встречи резца с волокнами, который автоматически переопределяется на каждом шаге управляющей программы.

**Управление вспомогательными командами и циклами обработки.** Направление и последовательность движений рабочих

органов относятся к цикловым командам. В системах управления механического типа такие команды программируются при разработке и монтаже схемы релейной автоматики (электрические реле, пневмораспределители и гидрораспределители). Цикл определяется профилем и направлением движения кулачка или копира. Всякие изменения цикловых команд связаны с переделкой системы управления или изготовлением новых кулачков и копиров.

При числовом программном управлении отдельные вспомогательные команды и циклы обработки создаются программным путём с использованием программируемого логического контроллера. Положение (состояние) исполнительного органа контролируется конечным выключателем, сигналы которого передаются непосредственно в контроллер или в промежуточный элемент – модуль ввода-вывода сигналов управления.

Одним из простейших объектов управления может служить привод, переключающий ограждение в положение «открыто» или «закрыто» в зависимости от состояния режущего инструмента. Здесь вид траектории движения ограждения задаётся конструкцией его направляющих перемещения (линейных или круговых), а позиционирование в рабочее положение и возврат в исходное положение может выполняться с постоянной максимальной скоростью.

В станках с ЧПУ поиск кратчайшего пути до сменяемого инструмента, находящегося в инструментальном магазине, осуществляется системой цифрового управления по сигналам датчика обратной связи. В системе также имеется возможность фиксировать и запоминать цикловые команды с разнообразными алгоритмами управления, которые можно использовать в зависимости от конкретных условий обработки.

Для управления всеми возможными состояниями исполнительных органов используют стандартные инструкции (команды), которые объединяют в группу с обозна-

чением буквой *M* и общим названием «Вспомогательная функция». Инструкции *M*-типа служат для передачи переменных и команд в программируемый логический контроллер и далее в компьютер.

### Выводы

1. В результате анализа принципов управления движениями исполнительных органов станка установлены составные части системы управления, предложены их определения и термины.

2. При реализации заданной технологической операции следует учитывать различные типы систем координат: абсолютную, систему инструмента, систему детали и внутреннюю систему. В результате анализа выявлены различные варианты ориентации обрабатываемого изделия в системе координат детали (базирующего устройства станка). Предложено уточненное понятие угла встречи с волокнами древесины и показана возможность использования этого параметра в качестве дополнительной переменной управления.

3. Рассмотренные способы управления с взаимосвязанными формообразующими движениями и законы изменения скорости исполнительных органов позволяют установить соответствие кинематических параметров (перемещений, скоростей и ускорений) условиям выполнения заданной технологической операции, а так же получить исходные данные для выполнения динамических расчетов при проектировании станка.

### Библиографический список

1. Асташев В. К., Бабицкий В. И., Вульфсон И. И. и др. Динамика машин и управление машинами: Справочник. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.: ил. – (Основы проектирования машин).
2. Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С. Проектирование автоматизированного производственного оборудования. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. CNI Controlli Numerici Industrial. Справочное руководство по программированию, 2002. – 542 с.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО СОВРЕМЕННОГО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Г.А. ЗОТОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, канд. техн. наук

Крылатое выражение «Доходы предприятия находятся на кончике резца» имеет под собой вполне реальные основания. Роль режущего инструмента в повышении производительности оборудования, снижении себестоимости и обеспечении качества продукции трудно переоценить, особенно на производствах, основу технологических процессов которых составляет механическая обработка материалов. Однако даже руководители предприятий не всегда отдают себе отчет, что для достижения желанных результатов недостаточно приобрести качественный режущий инструмент. Необходимо правильно его эксплуатировать и подготавливать к работе. Эти вопросы призвана решать инструментальная служба предприятия. Учитывая важность этой проблемы и скудное освещение ее в литературе, автор предложил в юбилейный сборник работ кафедры статью по организации инструментального хозяйства деревообрабатывающих предприятий.

Инструментальное хозяйство – самостоятельная служба деревообрабатывающего предприятия, обеспечивающая производство режущим инструментом. В общем случае инструментальная служба предприятия должна решать следующие задачи:

1. Определение потребностей предприятия в дереворежущем, абразивном и алмазном инструменте.
2. Определение потребности в контрольно-измерительном, пилоправном инструменте и оборудовании, используемом при подготовке режущего инструмента.
3. Планирование приобретения режущего инструмента и (или) его изготовления собственными силами.
4. Организация подготовки и ремонта режущего инструмента.
5. Организация эксплуатации режущего инструмента и технический надзор за его эксплуатацией.

6. Обеспечение рабочих мест режущим инструментом.

7. Организация учета и хранения режущего, абразивного и алмазного инструмента.

Объем работ по решению каждой из перечисленных задач зависит от количества находящегося в работе на предприятии режущего инструмента. Наиболее сложные и трудоемкие задачи – подготовка и ремонт режущего инструмента, изготовление специального инструмента – могут решаться либо привлечением специализированных центров подготовки режущего инструмента, либо силами инструментальной службы самого деревообрабатывающего предприятия.

При передаче инструментальным центрам всех работ по подготовке и ремонту режущего инструмента, а так же по обеспечению предприятия специальным инструментом, инструментальная служба может быть ограничена небольшой инструментальной группой.

В случае выполнения всех перечисленных задач силами самого предприятия на нем должно быть организовано полномасштабное инструментальное хозяйство. Рациональная степень централизации инструментальной службы зависит от конкретных условий предприятия.

### Системы организации инструментального хозяйства предприятия

При *централизованной системе* подготовка, ремонт и изготовление инструмента производится в одном инструментальном цехе и централизовано управление всем инструментальным хозяйством. При *децентрализованной системе* в каждом производственном цехе имеется возглавляемая мастером инструментальная мастерская, подчиненная начальнику цеха. *Смешанная система* предусматривает централизованную под-

готовку 30.. 70 % инструмента для ряда цехов и децентрализованную для остальных. Применение этой системы оправдано при невысокой стойкости инструмента, больших объемах подготовки и трудностях при транспортировке тяжелого инструмента (круглых пил большого диаметра, ленточных пил для распиловки бревен, строгальных ножей). Обычно на комбинатах выделяют территориально инструментальную мастерскую лесопильного цеха, а инструмент всех остальных цехов подготавливают централизованно в инструментальном цехе.

На крупных предприятиях чаще всего следует отдать предпочтение централизованной системе организации инструментального хозяйства. Опыт централизации управления и единства ответственности за весь комплекс работ по обеспечению режущим инструментом наиболее успешных предприятий доказал существенные преимущества централизации. Она позволяет более эффективно организовать управление, уменьшить текучесть кадров, специализировать рабочих по подготовке отдельных видов инструмента; повысить коэффициент использования рабочего времени и оборудования; организовать контроль качества подготовки инструмента; улучшить условия для внедрения новой техники и мероприятий по повышению уровня инструментального дела.

При централизованной системе полномасштабное инструментальное хозяйство включает следующие структурные подразделения: инструментальную лабораторию, инструментальный цех, заточные мастерские, инструментально-раздаточную кладовую (ИРК), центральный инструментальный склад (ЦИС).

**Инструментальная лаборатория** организуется преимущественно на мебельных и деревообрабатывающих предприятиях с большим объемом производства при необходимости разработки и изготовления специального режущего инструмента, оснастки и приспособлений. Она осуществляет разработку конструкций и технологии изготовления инструмента, выбор режимов подготов-

ки и эксплуатации инструмента, разработку мероприятий по повышению работоспособности инструмента.

**Инструментальный цех** в зависимости от особенностей каждого конкретного предприятия может иметь участки по изготовлению специального инструмента (пил, фрез и др.), оснащению инструмента износостойкими материалами, ремонту инструмента, изготовлению оснастки и приспособлений.

**В заточной мастерской** выполняются все работы по подготовке режущего инструмента (заточке, правке, проковке и вальцеванию, наладке сборного инструмента, балансировке и др.). В мастерской выделяются участки подготовки пил рамных, пил круглых, фрез сборных и т. д. При относительно небольших объемах производства заточная мастерская может быть включена в состав инструментального цеха, а некоторые участки цеха могут объединяться.

**Инструментально-раздаточные кладовые** организуют при заточной мастерской для обеспечения рабочих мест режущим инструментом. В зависимости от номенклатуры и количества находящегося в эксплуатации инструмента, а также расположения цехов инструментально-раздаточная кладовая обслуживает один цех или группу цехов. Организовывать отдельную кладовую рационально для обслуживания не менее 100 единиц деревообрабатывающего оборудования. Инструментально-раздаточная кладовая осуществляет

- получение инструмента из центрального инструментального склада (ЦИС);
- хранение оборотных фондов инструмента;
- приемку затупленного инструмента, его сортировку и отправку на заточку или в ремонт;
- приемку инструмента после подготовки и ремонта;
- комплектование подготовленного инструмента для отправки на производственные участки;
- диспетчеризацию доставки и возврата инструмента;

– сбор и передачу в ЦИС отработанного и изношенного инструмента.

**Центральный инструментальный склад** (или участок при центральном материальном складе) осуществляет

- приемку приобретенного и изготовленного на предприятии инструмента;
- размещение и хранение складского запаса инструмента предприятия;
- выдачу инструмента раздаточным кладовым;
- приемку и передачу на утилизацию отработанного инструмента;
- хранение инструмента для изделий, временно снятых с производства;
- учет складского запаса и движения инструмента.

Количество и номенклатура режущего инструмента, подлежащего хранению на складе, устанавливаются нормами складского запаса. Инструмент, изготовленный подразделениями инструментального хозяйства по разовым заказам, передается непосредственно в ИРК с оформлением прихода и расхода на центральном складе.

Инструментальное хозяйство выполняет свои функции в тесном взаимодействии с другими службами предприятия, схема которого показана на рис. 1.

Организация всей работы инструментального хозяйства возлагается на *начальника инструментального хозяйства*. Он полностью отвечает за организационно-технический уровень вверенного ему хозяйства и бесперебойное обеспечение предприятия режущим инструментом. Начальник имеет право подбирать рабочих и распределять функции между ними, давать распоряжения работникам инструментального хозяйства и требовать их выполнения, представляя подчиненных к поощрениям или взысканиям, требовать от служб предприятия выполнения их обязанностей в отношении инструментального хозяйства.

Непосредственный организатор труда и производства на вверенном ему участке – *мастер инструментального цеха* или *мастер заточной мастерской*. Мастер несет ответственность за выполнение плана и каче-

ство подготовки инструмента, соблюдение технологической и производственной дисциплины, рациональное использование рабочего времени, оборудования и инвентаря. Для этого он должен досконально знать все технологические процессы подготовки режущего инструмента, оборудование, вспомогательный и контрольно-измерительный инструмент, приемы работы. Мастер должен выявлять причины брака и принимать меры к его устранению, следить за исправностью оборудования, приспособлений и инвентаря, за обеспечением рабочих необходимой документацией и инструментом, участвовать в организации технического обучения рабочих, проводить инструктаж на рабочем месте, внедрять передовые методы труда, обеспечивать выполнение правил охраны труда и техники безопасности.

*Кладовщик ЦИС* предприятия несет материальную ответственность за сохранность инструмента. Совместно с работниками ОТК он принимает новый инструмент. Кладовщик хранит и выдает инструмент согласно установленным правилам, периодически контролирует фактическое наличие инструмента на складе, сопоставляя его с данными учета. При этом кладовщик ЦИС имеет право требовать от потребителей инструмента правильного оформления документов, а от хозяйственных работников предприятия – обеспечения склада необходимым оборудованием и инвентарем.

*Заведующий (или кладовщик) ИРК*, являясь материально ответственным лицом, отвечает за сохранность инструмента, обеспечение им рабочих мест, за ведение отчетности. Он выписывает и получает инструмент от ЦИС, принимает затупленный инструмент и передает его в инструментальную мастерскую, принимает подготовленный инструмент и выдает его в производственные цехи, списывает изношенный инструмент. Заведующий ИРК хранит инструмент согласно установленным правилам. Он имеет право проверять наличие инструмента на рабочих местах, требовать от мастеров и рабочих объяснений причин аварийного выхода инструмента из строя или его вынужден-



ной замены. Вместе с начальником инструментального хозяйства заведующий ИРК следит за своевременным пополнением запасов инструмента в соответствии с установленными нормативами.

*Рабочие инструментального хозяйства* делятся на основных и вспомогательных. К вспомогательным относят рабочих складов, транспортных рабочих и рабочих по ремонту оборудования.

*Основные рабочие* обычно специализируются по операциям (заточке, плющению, проковке и правке полотна, балансировке и т. д.) независимо от вида подготавливаемого инструмента. Выполнение различных операций закрепляется за одним рабочим в том случае, если количество подготавливаемого инструмента невелико и объем работ по отдельным операциям недостаточен для полной загрузки рабочих в течение всей смены.

Наиболее многочисленной категорией основных рабочих являются заточники. Характеристика работ, которые могут быть поручены конкретному рабочему, зависит от его квалификации.

*Заточник 3-го разряда* должен *уметь*: выполнять заточку и правку ножей и фрез с прямолинейной режущей кромкой под руководством заточника более высокой квалификации. Он должен *знать*: устройство простых заточных станков и правила ухода за ними; виды и назначение режущего инструмента; элементы и углы лезвия; правила заточки и правки инструмента; марки инструментальных материалов; абразивные инструменты.

*Заточник 4-го разряда* должен *уметь*: затачивать и править стальные пилы, цельные фрезы, ножи длиной до 1 м, сверла; балансировать ножи и фрезы; наладивать и участвовать в текущем ремонте заточного оборудования; подбирать и испытывать шлифовальные круги. Он должен *знать*: устройство, правила эксплуатации и технические характеристики заточного оборудования; классификацию, конструкции и геометрию дереворежущего инструмента; контрольно-измерительный инструмент и при-

способления; характеристики абразивных кругов, методы их установки и испытаний; правила уравнивания инструмента.

*Заточник 5-го разряда* должен *уметь*: затачивать и править профильные фрезы, цепи и ножи длиной до 1,5 м на различных заточных станках; затачивать простой инструмент с пластинами твердого сплава; производить балансировку сборных фрез, наладивать заточное оборудование. Он должен *знать*: правила заточки профильного инструмента; режимы заточки; абразивные и алмазные инструменты для заточки и доводки твердосплавного режущего инструмента; марки твердых сплавов и их свойства; условия работы режущего инструмента на каждом отдельном участке.

*Заточник 6-го разряда* должен *уметь*: затачивать и править луцильные и строгальные ножи длиной более 1,5 м, править их и доводить оселком; затачивать и править сложный твердосплавной инструмент; работать на заточных станках-автоматах; определять режим и последовательность подготовки всех видов дереворежущего инструмента; проверять качество подготовки инструмента с помощью контрольно-измерительных приборов; проверять, наладивать и регулировать заточное оборудование; участвовать в его ремонте. Он должен *знать*: правила заточки сложного режущего инструмента; назначать режимы заточки любого дереворежущего инструмента. Наиболее опытный рабочий 6-го разряда является старшим смены и отвечает в отсутствие мастера за всю работу заточного участка.

Организация полномасштабного инструментального хозяйства требует достаточно больших производственных площадей, штата квалифицированных рабочих и инженерно-технических работников, существенных затрат на приобретение оборудования для подготовки инструмента. В 60-80-е годы прошедшего века министерство лесной и деревообрабатывающей промышленности СССР много усилий приложило к созданию централизованных цехов подготовки режущих инструментов, обслуживающих

25...30 предприятий отрасли. В тех немногочисленных случаях, когда эти усилия были успешны, например, на производственном объединении «Мосдревпром», результаты были впечатляющими [Вандерер К.М., Зотов Г.А. Специальный дереворежущий инструмент. – М.: Лесная промышленность, 1983.]. Централизация инструментального хозяйства позволила существенно сократить необходимое количество оборудования для подготовки режущего инструмента, способствовала применению более совершенного специализированного оборудования, внедрению прогрессивных конструкций режущего инструмента и режимов подготовки его к работе. Все это привело к улучшению качества инструмента и сокращению потребности в нем не менее чем на 25–30 %.

Вся Западная Европа покрыта густой сетью сервисных центров крупных инструментальных фирм. Такие центры начали появляться и в России. Есть все основания считать, что их количество будет расти. В ряде регионов уже сегодня руководитель деревообрабатывающего предприятия имеет возможность выбора между привлечением специализированного инструментального центра и организацией соответствующих служб на своем предприятии.

Из всего сказанного можно заключить, что выбор системы организации инструментального хозяйства должен осуществляться на основе всестороннего экономического анализа при проектировании нового или реконструкции действующего предприятия с учетом объемов и вида производства, номенклатуры и количества подготавливаемого инструмента, количества и размещения производственных цехов предприятия.

#### **Расчет численности и состава работников инструментального хозяйства**

Численность основных рабочих по подготовке инструмента определяют по нормативным документам, имеющимся для целого ряда производств. Так, для лесопильных предприятий, использующих в качестве основного оборудования лесопильные рамы, установлены следующие нормативы численности

рабочих: подготовка пил (рамных и круглых) – 0,87 чел/смены на одну лесопильную раму; изготовление межпильных прокладок – 0,031 чел/смены на одну лесопильную раму; подготовка короснимателей для окорочного станка типа ОК-66 – 0,1 чел/смены и 0,25 чел/смены на одну рубительную машину типа «Камбио».

Для производств, не имеющих таких нормативов, численность основных рабочих определяют расчетом по формуле

$$P = (a \cdot L \cdot \sum_1^n ti \cdot Fi / Gi) / t \cdot M,$$

где  $P$  – численность рабочих в одну смену для подготовки инструмента одного вида;

$L$  – количество инструмента одного вида, подлежащего подготовке в одну смену, шт.;

$a$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на не нормированные работы ( $a = 1,15$  для пил и  $a = 1,07$  для ножей, фрез и сверл);

$t$  – продолжительность смены, ч;

$M$  – коэффициент использования рабочего времени ( $M \approx 0,7$ );

$n$  – число операций подготовки инструмента данного вида;

$ti$  – среднее время (продолжительность) одной конкретной операции подготовки инструмента, ч;

$Gi$  – количество одновременно подготавливаемого на станке инструмента, шт.;

$Fi$  – коэффициент, характеризующий периодичность выполнения данной операции подготовки по отношению к заточке; если, например,  $Fi = 0,25$  для плющения, это значит, что зубья плющат в среднем после четырехкратной их заточки.

Данные о трудоемкости и периодичности подготовки дереворежущего инструмента приведены в табл. 1. Количество инструментов одного вида, подлежащего подготовке за смену, рассчитывают по формуле

$$L = z \cdot t \cdot K / T,$$

где  $L$  – количество инструмента одного вида, одновременно эксплуатируемого в производственных цехах, шт.;

$t$  – продолжительность смены, ч;

$T$  – стойкость инструмента, ч;

$K$  – коэффициент случайной убыли инструмента.

Сведения о средней стойкости различных типов режущего инструмента и коэффициенте случайной убыли приведены в табл. 2. Они обобщают результаты замеров стойкости и расхода инструмента в производственных условиях. При использовании новых обрабатываемых и инструментальных материалов, режимов резания и способов подготовки инструмента, приведенные в табл. 1. и 2. нормативы, необходимо уточнять для конкретных условий данного предприятия.

Создание уточненных нормативов предприятия – важная задача, решаемая инструментальной лабораторией или инженером инструментальной группы. Например, предприятие использует в качестве сырья древесностружечные плиты различных поставщиков. Они, как правило, отличаются по обрабатываемости резанием. Различие в периоде стойкости инструмента при обработке плит разных изготовителей может составлять 2 и более раз. Данные по стойкости инструмента необходимы не только для расчета количества потребного инструмента, но и для обоснованного выбора поставщика плит.

Количество рабочих, рассчитанное по приведенной формуле, суммируется. Округленное до ближайшего целого, оно определяет явочную численность основных рабочих в одну смену.

Т а б л и ц а 1

**Средние нормы времени на подготовку дереворежущего инструмента**

Инструмент	Операция	$t_i$ , мин	$F_i$
Пилы рамные	Приклепка планок к одному концу пилы	10 / 10	0,02 / 0,02
	Правка и вальцевание полотна	5 / 5	0,10 / 0,05
	Плющение и формование зубьев	3 / 5	0,25 / 0,10
	Наплавка зубьев пил стеллитом и заточка по передней, задней и боковым граням	– / 55	– / 0,10
	Заточка зубьев	4 / 5	1 / 1
	Установка постава до 7 пил	20 / 20	1 / 1
	Установка постава до 20 пил	35 / 35	1 / 1
Пилы ленточные для распиловки бревен и брусьев	Соединение концов пилы пайкой	80	0,05
	Соединение концов пилы ручной сваркой	80	0,05
	Соединение концов пилы сваркой на автомате	40	0,05
	Правка и вальцевание новой пилы	180	0,03
	Правка и вальцевание промежуточные	120	0,33
	Плющение и формование зубьев ручное	60	0,25
	Плющение и формование зубьев на станке на полуавтоматах	40	0,25
	Заточка зубьев	50	1
	Установка пилы в станок	20	1
	Обкатка новой пилы на холостом ходу	30	0,05
Пилы ленточные для распиловки древесины	Соединение концов широкой пилы сваркой	30	0,03
	Соединение концов узкой пилы сваркой	15	0,03
	Правка и вальцевание полотен широких пил	100	0,2
	Правка и вальцевание полотен узких пил	20	0,2
	Плющение и формование зубьев широких пил	50	0,25
	Развод зубьев узких пил	10	0,25
	Заточка зубьев широких пил	15	1
	Заточка зубьев узких пил	1	1

Инструмент	Операция	$t_i$ , мин	$F_i$
Круглые пилы диаметром до 710 мм	Правка и проковка	15 / 15	0,2 / 0,05
	Развод зубьев	15	0,25
	Плющение и формование зубьев ручное	40	0,25
	Формование зубьев наплавленных стелитом	- / 10	- / 0,05
	Напайка пластинок твердого сплава	- / 40	- / 0,05
	Черновая заточка по задней поверхности	- / 20	- / 0,05
	Шлифование боковых поверхностей	- / 50	- / 0,05
	Чистовая заточка зубьев	10 / 40	1 / 1
	Доводка зубьев	4 / 25	1 / 1
	Балансировка	10 / 10	0,1 / 0,1
	Установка пилы в станок	10 / 15	1 / 1
Круглые пилы диаметром до 1000 – 1500 мм	Правка и проковка	40	0,2
	Развод зубьев	20	0,25
	Заточка зубьев	30	1
Коросниматели	Заточка и правка	15 / 15	1 / 1
Ножи рубительных машин	Заточка	10	1 / 1
	Балансировка	3	1 / 1
	Наладка	12	1 / 1
Ножи плоские для фрезерования	Заточка и доводка пары ножей длиной 100 мм	5 / 7,5	1 / 1
	Установка ножей длиной до 800 мм	38	1
	Установка ножей длиной более 800 мм	46	1
Ножи луцильные	Заточка и доводка	40	1
Линейки прижим.	Заточка и доводка	30	1
Ножи для рубки шпона	Заточка и доводка	29	1
Фрезы насадные	Заточка и доводка	19 / 26	1 / 1
	Балансировка	6 / 6	1 / 1
	Наладка сборных фрез	30 / 30	1 / 1
Фрезы концевые	Заточка и доводка	6 / 9	1 / 1
	Балансировка	2 / 2	1 / 1
	Установка в станок	12 / 12	1 / 1
Сверла	Заточка	8 / 10	1 / 1
	Установка в станок	12 / 12	1 / 1
Фрезерные цепочки	Заточка	12	1 / 1
	Установка в станок	19	1 / 1
Долбяки	Заточка	6	1 / 1
	Установка в станок	10	1 / 1

Примечание. В числителе приведены данные для стального, в знаменателе – для твердосплавного инструмента.

Число вспомогательных рабочих при укрупненных расчетах составляет 15...20 % от числа основных рабочих, в том числе 2...3 % составляют рабочие-контролеры. Инженерно-технические работники составляют 10...12 %, служащие 1,5...2 % и младший обслуживающий персонал 1...1,5 % от числа рабочих инструментального хозяйства.

Данные табл.1. характеризуют трудоемкость операций подготовки дереворежущего инструмента на универсальных заточных станках с ручной или механической по-

дачей, а так же на заточных станках – полуавтоматах, в которых механизированы не только рабочие, но и часть вспомогательных движений (возврат каретки с пилой или шлифовальным суппортом, подача врезания абразивного круга, отключение станка после заданного числа проходов). Каждый из этих станков обслуживает рабочий заточник. Современные заточные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) допускают обслуживание одним оператором одновременно 2–3 станков.

Данные для расчета расходного фонда дереворежущего инструмента

Тип и назначение инструмента	Стойкость инструмента, ч при обработке					Коэффициент случайной убыли $K$
	древесины			плит облицованных		
	хвойной	твердой лиственной	слоистой клееной	столярных	ДСтП	
Пилы рамные	3 / 7					1,5 / 2,3
Пилы ленточные для распиловки древесины	3,5					3,5
Пилы ленточные для распиловки бревен	3					3,5
Пилы круглые для продольного пиления	9 / 85	6 / 65	- / 20		0,5 / 50	1,3 / 1,35
Пилы круглые для поперечного пиления	12	8				1,35
Ножи рубительные летом зимой	12	8				1,3
	8					1,3
Луцильные ножи		4				1,3
Гильотинные ножи		208				1,16
Коросниматели летом зимой	21					1,2
	7					1,2
Фрезы сборные цилиндрические	10 / 62	9 / 48	- / 6,2	7 / 14	- / 6,5	1,05 / 1,08
Фрезы пазовые продольные	10 / 30	9 / 21	1,3 / 5	6,5 / 15	1,5 / 6,5	1,05 / 1,07
Фрезы пазовые поперечные	8 / 21	7 / 16	0,5 / 3	4,5 / 10	0,8 / 4	1,06 / 1,07
Фрезы цельные заточенные	11	7,3				1,05
Фрезы шипорезные	11,8 / 58	7 / 31				1,05 – 1,06
Фрезы концевые однозубые двухзубые	4,9 / 20	3 / 9	0,6	2,3	1,8	1,15
	5,9 / 24	3,7 / 12	0,4	2,4 / 4	1,5 / 4,8	1,15
Сверла спиральные конические с центром и подрезат.	10	9	3	4	3,5	1,2
	7	6	3	4	3,5	1,2
Сверла чашечные	10,5	9,7	1	2,6	2,2	1,13
Резцы кругло-палочных станков	9	6				1,16

Примечание. В числителе приведены данные для стального, в знаменателе – для твердосплавного инструмента

Сопоставление нормативных и фактических данных о стойкости инструмента позволяет сделать выводы об уровне подготовки и эксплуатации инструмента на данном конкретном предприятии. Если фактическая стойкость заметно меньше нормативной следует особое внимание уделить контролю режимов подготовки и эксплуатации инструмента.

Следует помнить, что стойкость, выраженная временем работы, не учитывает реальных условий работы режущего инструмента. Более содержательна информация о стойкости, выраженная суммарной длиной  $L_n$  обработанных заготовок при заданной величине припуска  $t$ . В качестве примера в табл. 3. приведена погонная длина обработанных фрезерованием заготовок  $L_n$ , м.

Стойкость режущей кромки фрез

Глубина профиля Н, мм	Длина деталей, обработанных одной режущей кромкой Lп, м					
	Цельная стальная сталь Х6ВФ		Составная с пластинками твердого сплава ДК20		Сборная с пластинками твердого сплава НЗМ	
	сосна	дуб	сосна	дуб	сосна	дуб
Продольное фрезерование ( $S_z = 0,5$ мм, $Rm_{max} \leq 100$ мкм)						
0	680	511	6457	4855	9225	6936
5	324	243	3075	2312	4393	3303
10	229	172	2173	1634	3105	2335
15	181	136	1716	1290	2451	1843
20	151	113	1431	1076	2044	1537
25	130	98	1233	927	1761	1324
30	114	86	1086	817	1553	1167
35	102	77	972	731	1389	1044
Торцовое фрезерование шипов, проушин ( $S_z = 0,3$ мм, $Rm_{max} \leq 100$ мкм)						
50	56	42	529	398	756	568
60	49	37	469	353	670	504
70	44	33	423	318	604	454
80	41	30	385	289	550	413

Примечание: Глубина профиля  $H = 0$  соответствует цилиндрическому фрезерованию плоской поверхности с припуском  $t = 2$  мм. Найдя по табл. 3. наработку на отказ режущей кромки (например, при фрезеровании профильной ( $H = 5$  мм) детали из сосновой заготовки инструментом с напаянной пластиной твердого сплава марки ДК 20  $Ln = 3075$  м), стойкость фрезы Lфп можно определить по формуле  $Lфп = z * Ln$ . При  $z = 4$  стойкость фрезы  $Lфп = 12030$  м

Определение потребного количества инструмента:

потребность предприятия в режущем инструменте определяют на основании объема основного производства, номенклатуры инструмента (по технологической документации) и норм расхода инструмента. Различают два вида потребности предприятия в режущем инструменте – расходный фонд и оборотный фонд.

*Расходный фонд* – количество инструмента, которое будет полностью изношено или израсходовано при производстве продукции в соответствии с планом предприятия. Он определяется по нормам расхода для каждого вида инструмента.

*Оборотный фонд* – количество инструмента, имеющегося в каждый данный момент на предприятии. Он устанавливается на все виды и типоразмеры инструмента. В состав оборотного фонда входит инструмент, одновременно находящийся на всех рабочих

местах, в подготовке и ремонте, а также находящийся в запасе и годный к работе инструмент. Методика расчета оборотного фонда исходит из следующего: на предприятии должно быть минимальное количество инструмента, но достаточное для обеспечения бесперебойной работы всего технологического оборудования и выполнения плановых заданий выпуска продукции.

Годовой расходный фонд каждого типоразмера инструмента  $R$  (шт.) вычисляют, исходя из времени работы основного технологического оборудования на выполнение годовой программы выпуска каждого изделия:

$$R = T_{год} * n / [(H/h) * T * (1 - K)],$$

где  $T_{год}$  – время работы инструмента в году, ч;

$n$  – число одинаковых инструментов в комплекте на один станок;

$H$  – величина допускаемого стачивания рабочей части режущего инструмента, мм;

- $h$  – величина уменьшения рабочей части инструмента за одну переточку, мм;
- $H/h$  – возможное число переточек за срок службы инструмента;
- $T$  – стойкость инструмента, час;
- $K$  – коэффициент, учитывающий поломку и непредвиденные расходы инструмента.

Основные данные для этого расчета приведены в табл. 2. и 4.

Кроме такого, можно укрупненно определить расходный фонд дереворежущего инструмента в зависимости от вида и объемов выпускаемой предприятиями продукции. Рядом ведомств утверждены нормативные документы для определения потребности в деревообрабатывающем инструменте предприятий различной специализации. В этих документах на основании статистического анализа расхода режущего инструмента в производственных условиях приведена норма расхода инструмента  $N$  на принятую в народном хозяйстве единицу выпуска продукции. В табл. 5. приведены нормы расхода дереворежущего инструмента в производственном объединении «Мосдрев».

Годовую потребность в инструменте  $R$ , шт рассчитывают по норме расхода инструмента  $N$  и годовому объему выпуска данного вида продукции  $Q$ :

$$R = N * Q$$

Расходный фонд периодически убывает вследствие текущего расхода и, достигнув некоторого минимального уровня, должен пополняться из запасов оборотного фонда. После использования расходного запаса остается оборотный запас, составляющий минимум оборотного фонда.

Общезаводской оборотный фонд Иобщ режущего инструмента каждого типоразмера состоит из цеховых оборотных фондов Ицех и запасов ЦИС – Иц.и.с: Иобщ = Ицех + Иц.и.с. В свою очередь цеховой оборотный фонд состоит из инструмента на рабочих местах  $I_1$ , подготовленного к работе инструмента в инструментально-раздаточной кладовой  $I_2$ , находящегося в подготовке инструмента  $I_3$ , запаса  $I_4$ , находящегося в ИРК для замены окончательно изношенного инструмента. Каждое из этих слагаемых находят по формулам

$$I_1 = B * C * K_1; I_2 = I_1 * t_1 / (Tc * K_1);$$

Т а б л и ц а 4

Данные для расчета допустимого числа переточек дереворежущего инструмента

Инструмент	$h$ , мм	$H$ , мм
Пилы рамные	0,5 – 0,7	80 – 90
Пилы круглые стальные	0,6 – 0,8	20 – 25
Пилы дисковые с пластинами твердого сплава	0,20 – 0,25	6 – 8
Пилы ленточные узкие	0,30 – 0,40	5 – 40
Пилы ленточные широкие	0,50 – 0,70	25 – 100
Ножи рубительных машин	0,30 – 0,40	38
Ножи для фрезерования древесины стальные	0,20 – 0,30	10 – 25
Ножи для фрезерования древесины с пластинами твердого сплава	0,15 – 0,30	8 – 10
Фрезы цельные насадные	0,15 – 0,20	15 – 25
Фрезы составные (с пластинами твердого сплава)	0,15 – 0,20	2 – 5
Фрезы концевые стальные	0,10 – 0,15	2 – 3
Сверла стальные	0,20 – 0,30	20 – 40
Фрезерные цепочки	0,15 – 0,20	3
Гнездовые (долбежные) фрезы	0,15 – 0,30	6

**Удельный расход инструмента на производство основных видов продукции деревообработки**

Инструмент	Удельный расход инструмента $N$ , шт на производство							
	1000 м <sup>3</sup> пило- ма- териалов	1000 м <sup>2</sup> ДСтП	1000 м <sup>2</sup> ДВП	1000 м <sup>2</sup> столяр- ных изделий	1000 м <sup>2</sup> двер- ных блоков	1000 м <sup>2</sup> окон- ных блоков	1000 шт паркета	1000 м <sup>2</sup> встро- енной мебели
Пилы рамные	6,7							
Пилы круглые стальные	1,11		0,003	0,65	0,24	1,06	0,71	0,6
Пилы круглые твердосплавные		2,15	0,002	0,23	0,13	0,16		0,35
Ножи для фрезе- рования сталь- ные			0,01	0,1	0,24	0,67	0,13	0,22
Ножи для фрезе- рования твердо- сплавные			0,09	0,2	0,68	0,38	0,08	
Фрезы насадные			0,01	0,15	0,16	0,22		0,05
Ножи рубитель- ных машин	0,52							
Коросниматели	0,25							

$$I_3 = I_1/K_1; I_4 = 1,15 * R_m * t_2,$$

где  $B$  – количество инструмента, применяемого одновременно (в одной смене) на одном станке;

$C$  – количество одновременно работающих станков, на которых используется инструмент данного типоразмера;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий количество комплектов инструмента, одновременно находящихся на рабочем месте;

$T_c$  – стойкость инструмента в сменах работы;

$t_1$  – количество смен, на которое должен быть запасен инструмент;

$R_m$  – месячный расход инструмента данного типоразмера, шт.;

$t_2$  – период пополнения запасов ИРК со склада, мес.

Коэффициент  $K_1$  зависит от стойкости инструмента, периодичности его подноски к рабочим местам, соотношения стоимости инструмента и затрат на его доставку к рабочему месту станочника. Для лесопильных

цехов принимают  $K_1=1$ , для цехов деревообработки  $K_1 = 1...3$ . Количество смен  $t_1$ , на которое должен быть запасен подготовленный инструмент, выбирают тем меньше, чем выше стойкость инструмента и короче цикл его подготовки. Для цехов лесопиления  $t_1 = 0,3...1$ , для цехов деревообработки  $t_1 \geq 1$ . Эта величина уточняется по опыту работы предприятия в зависимости от номенклатуры, применяемого инструмента. Период  $t_2$  пополнения запасов ИРК составляет 1...2 мес для цехов лесопиления и 2...6 мес для деревообрабатывающих цехов.

Чем выше расход инструмента, тем меньше устанавливают период пополнения запасов. Количество инструмента данного типоразмера на центральном складе Иц.и.с определяют по формуле

$$I_{ц.и.с} = 1,1 * T_{ц.и.с} * R_b / t_2,$$

где  $T_{ц.и.с}$  – периодичность пополнения запасов центрального инструментального склада, мес;

$R_b$  – расход инструмента за период между выдачами его из ЦИС, шт.



**Расчет потребного количества абразивных и алмазных кругов, контрольно-измерительного инструмента и оснастки**

Количество абразивных и алмазных кругов, потребное для заточки дереворежущего инструмента, можно рассчитать по формулам аналогичным тем, по которым ведут расчет потребного количества дереворежущего инструмента. При этом необходимо по справочникам предварительно определить удельный расход абразивов или алмазов на съем 1 мм<sup>3</sup> инструментальной стали или твердого сплава. Укрупненные нормы расхода абразивного инструмента на одну заточку приведены в табл. 6.

Расход абразивного инструмента в год определяют по формуле

$$Na = \sum_1^k R^*(H/h),$$

где  $R$  – расходный фонд данного типоразмера затачиваемого инструмента;

$k$  – число типоразмеров подлежащих заточке режущих инструментов;

$H/h$  – число заточек инструмента за весь срок его службы, определяемое по табл. 3.

Потребное количество контрольно-измерительного инструмента и оснастки оп-

ределяют из условия обеспечения ими всех рабочих мест, на которых применяют данный вид инструмента или оснастки.

Ориентировочные сроки службы указанных инструментов составляют: мерительных инструментов (штангенциркулей, угломеров, индикаторных разводомеров т. п.) 24 мес, калибров 36 мес, пилоправных инструментов и оснастки для установки рамных пил 18 мес.

**Выбор и приобретение инструмента**

Потребность предприятия в любых видах инструмента удовлетворяется его приобретением или изготовлением.

Стандартный инструмент приобретает обычно отдел снабжения по заявке, составленной технологом и завизированной начальником инструментального хозяйства. В заявке должно быть четко указаны все необходимые данные: наименование и конкретное технологическое назначение инструмента, ГОСТ на инструмент или фирменный каталог, по которому выбран инструмент, обозначение инструмента по ГОСТ или каталогу, основные параметры инструмента (размеры, число зубьев и др.), число инструментов, подлежащих приобретению.

Т а б л и ц а 6

**Нормы расхода абразивных инструментов на одну заточку дереворежущего инструмента**

Дереворежущий инструмент	Нормы расхода абразивных инструментов Na, шт		
	Кругов абразивных	Кругов алмазных	Оселков
Пилы рамные	0,02	-	0,05
Пилы круглые стальные	0,02	-	0,05
Пилы дисковые твердосплавные	-	0,01	-
Пилы ленточные узкие	0,015	-	0,01
Пилы ленточные широкие	0,02	-	0,05
Ножи стальные	0,023	-	0,07
Ножи твердосплавные	-	0,012	-
Ножи рубительные (комплект)	0,053	-	0,1
Фрезы насадные стальные	0,015	-	0,02
Фрезы насадные твердосплавные	-	0,012	-
Фрезы концевые стальные	0,01	-	0,01
Сверла стальные	0,005	-	0,015
Фрезерные цепочки	0,02	-	-

Специальный инструмент подлежит изготовлению либо собственным инструментальным цехом, либо специализированным инструментальным предприятием. В любом случае технологом должна быть составлена заявка на изготовление, в которой указываются:

1. Наименование заказанного инструмента и его тип (например, фреза насадная с напаянными пластинами твердого сплава для обработки наличника).

2. Размеры заготовки и профиль обработанной детали.

3. Материал заготовки.

4. Требования к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей.

5. Модель станка, на котором будет обрабатываться заготовка, и по возможности его основные данные (мощность привода механизмов резания и подачи, диапазон скоростей подачи, частота вращения и диаметр шпинделя, направление вращения шпинделя, габаритные предельно допустимые размеры инструмента).

6. Желательная величина скорости подачи.

7. Дополнительные требования к инструменту (по усмотрению заказчика).

Технически грамотно составленная заявка – первое необходимое условие приобретения качественного инструмента.

Рынок дереворежущего инструмента в последние годы все больше насыщается продукцией отечественных и зарубежных изготовителей. Задача достать подходящий инструмент сегодня уже не актуальна. Сегодня стоит другая задача – выбрать оптимальный для заданных условий работы инструмент. Данная глава поможет технологу освоить методику решения этой задачи.

#### **Этапы выбора инструмента**

Выбор инструмента включает следующие этапы:

1. Уточнение исходных данных.

2. Определение основных параметров инструмента.

3. Уточнение типа (конструктивного решения) инструмента.

4. Отыскание соответствующего стандартного (серийно выпускаемого) инструмента или оформление заказа на специальный инструмент. Сбор сведений о его эксплуатационных и стоимостных параметрах.

5. Выбор производителя и поставщика инструмента по критерию цена-качество.

Укрупненный алгоритм выбора инструмента показан на рис. 2. Остановимся на каждом из перечисленных этапов, рассмотрим здесь общие для всех инструментов вопросы.

**На первом этапе** уточняют исходные данные, характеризующие деталь и технологию ее обработки.

**На втором этапе** определяют основные параметры инструмента. Каждый вид режущего инструмента характеризуется своим набором основных параметров, порядок определения которых достаточно подробно описан в учебной и технической литературе.

Один из параметров, конструктивные особенности закрепления инструмента в станке, определяют особенности оборудования, на котором будет работать данный инструмент. Как правило, конструктивные решения устройств для закрепления инструмента на станках унифицированы. Однако изготовители станков не всегда обоснованно применяют нестандартные диаметры шпинделей, специальные втулки-оправки, встроенные в инструмент цанги, радиальные или торцовые шпонки и т.п. В результате весь применяемый на данном станке инструмент становится специальным, что значительно сужает круг возможных его поставщиков. Поэтому уже на стадии приобретения станка надо помнить о режущем инструменте и стараться не создавать себе в будущем проблемы с оснащением станка инструментом.

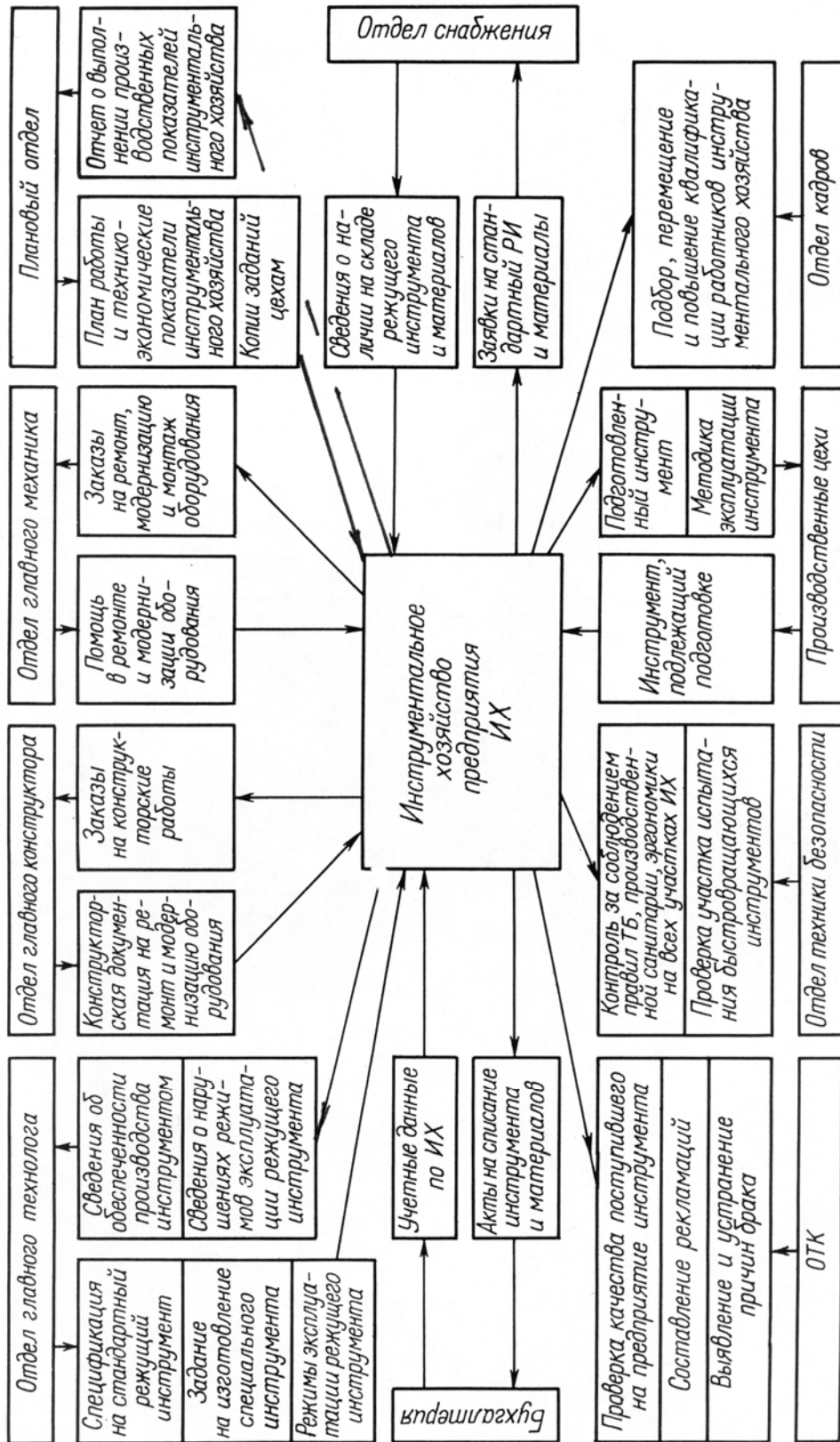


Рис. 1. Взаимосвязь инструментального хозяйства со службами предприятия



Рис. 2. Алгоритм определения основных параметров инструмента, выбора его конструктивного решения и изготовителя

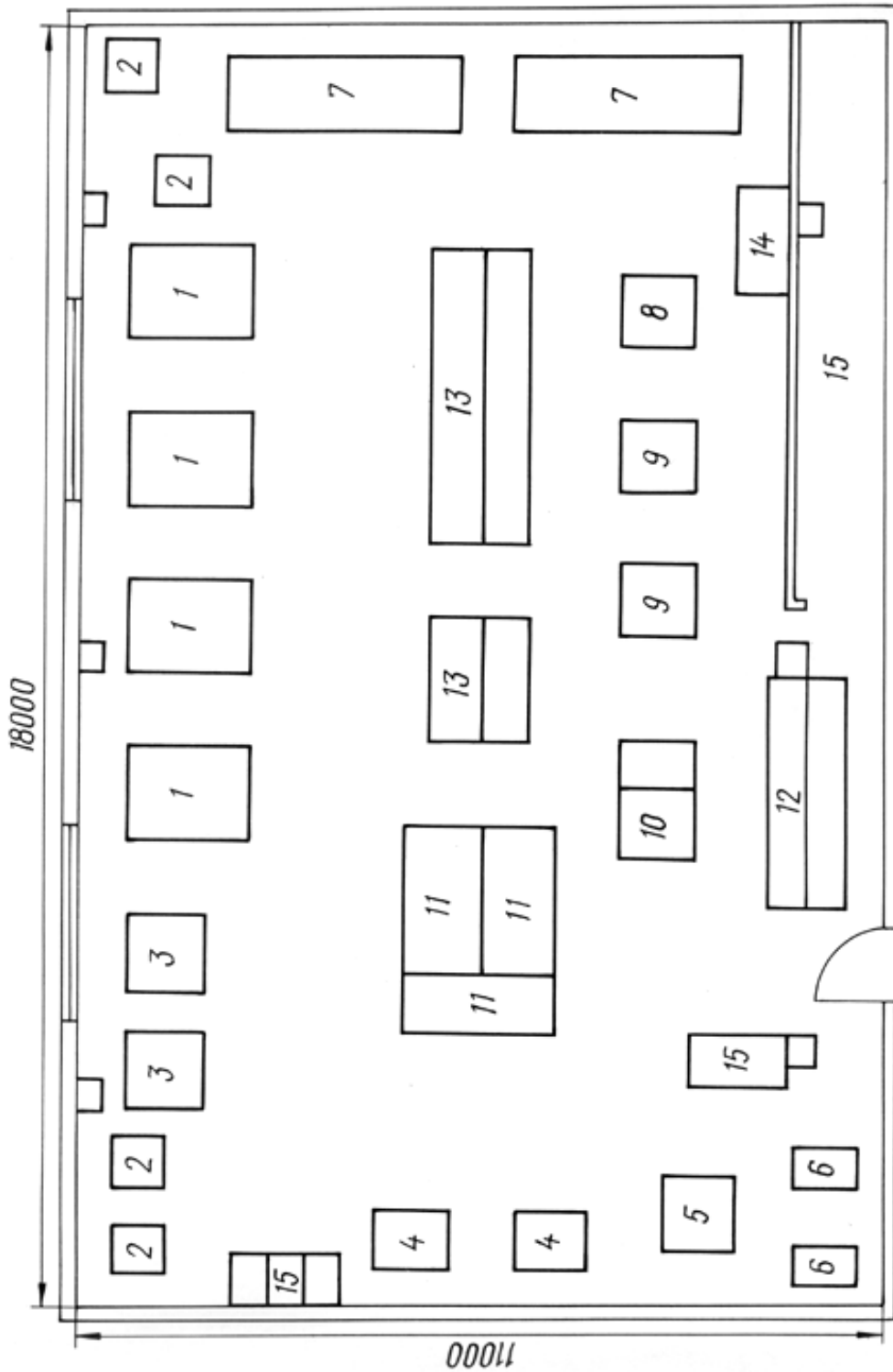


Рис.3. Вариант размещения оборудования и рабочих мест заточной мастерской:

1 – универсально-заточные станки; 2 – точила для грубой абразивной обработки; 3 – станки для ручной заточки; 4 – полуавтоматы для заточки стальных круглых пил; 5 – полуавтомат для заточки круглых пил с пластинами твердого сплава; 6 – полуавтоматы для развода зубьев пил; 7 – ноже-чильные станки ТчН18-3; 8 – станок для заточки дробильных ножей; 9 – универсально-заточные станки; 10 – рабочее место с ванной для очистки инструмента; 11 – рабочее место для наладки сборных фрез; 12 – стеллажи для хранения инструмента; 13 – рабочее место для контроля инструмента; 14 – стол для хранения вспомогательной оснастки; 15 – пункт приема и выдачи инструмента

На третьем этапе *предварительно* выбирают тип инструмента (цельный или сборный, затылованной или незатылованной, со стальными или твердосплавными режущими элементами и т.д.). Выбор этот чаще всего делается на основании некоторых общих соображений, выработанных многолетней практикой исходя из объемов производства, особенностей обрабатываемых материалов и т.п. На этой стадии может оказаться, что имеется 2–3 приблизительно равноценных варианта. На последнем этапе предварительный выбор уточняется и конкретизируется.

**Четвертый этап** наиболее трудоемкий. В ходе его выполнения предстоит выяснить, выпускается ли серийно инструмент данного типа с требуемыми параметрами. Для этого надо иметь в распоряжении большое количество справочной литературы (специализация отечественных инструментальных заводов, подробные и достаточно свежие каталоги отечественных и зарубежных фирм, прайс-листы поставщиков дереворежущего инструмента). Свести эти сведения в единый справочник практически невозможно из-за большого их объема и очень быстрого обновления содержания. Для получения этой информации следует посещать специализированные выставки («Лесдревмаш», «Деревообработка», «Мебель», «Окна», «Строительство» и др.). На выставках необходимо целенаправленно собирать материалы по интересующим вас вопросам, в том числе и о режущем инструменте. Полезно также регулярно просматривать периодические издания, публикующие технические, обзорные и рекламные статьи по дереворежущему инструменту. Эти материалы должны быть систематизированы, чтобы в нужный момент можно было легко найти необходимую информацию. В идеале всю собранную информацию следует занести в компьютер, создав и регулярно обновляя удобную для вас базу данных. В ней обязательно должны быть и сведения об изготовителях специального инструмента, так как, если инструмент с требуемыми или близкими к ним параметрами не обнаружен, приходится за-

казывать специальный инструмент. Сбор информации об инструменте, его изготовителях и поставщиках существенно упрощает умелое пользование поисковыми системами Интернета.

В подавляющем большинстве случаев предпочтение следует отдавать серийно выпускаемому инструменту. Он обычно имеется на складе готовой продукции и дешевле специального. Возможен вариант, когда различия стандартного и требуемого инструментов невелики. Например, достаточно проточить посадочное отверстие, изготовить переходную втулку или обработать шпоночный паз. В этих случаях следует рассмотреть вопрос о приобретении стандартного инструмента с его последующей доработкой. Такую доработку желательно осуществлять силами инструментальщиков-профессионалов, чтобы не испортить инструмент.

Однако, если сроки поставки, цены или качество имеющегося стандартного инструмента не удовлетворяют потребителя, имеет смысл сравнить его с аналогичным специальным инструментом.

Для выбора оптимального решения **на пятом этапе** следует сопоставить все альтернативные варианты по критерию цена-качество. В нашем случае он приобретает простейшую форму минимума приведенных затрат на инструмент.

#### **Приведенные затраты – критерий выбора инструмента**

Приведенные затраты это сумма всех затрат на инструмент (приобретение, ремонт, оснащение инструмента сменными лезвиями и другими комплектующими, подготовка к работе, а так же упущенная по вине инструмента прибыль), отнесенная к объему выполненной инструментом работы. Таким образом, приведенные затраты, показывая, каков вклад инструмента в себестоимость единицы продукции, являются наглядным комплексным критерием потребительского качества инструмента.

$P_z = (Z_{пр} + Z_{рем} + Z_{под} + U_{пр}) / Q$ ,  
где  $Q$  – программа выпуска изделий, выраженная в принятых для данного из-

делия единицах (м для погонажных изделий, м<sup>2</sup> для паркета, оконных и дверных блоков, м<sup>3</sup> для пиломатериалов и т.п.);

Пз – приведенные затраты на инструмент (руб/м, руб/м<sup>2</sup>, руб/м<sup>3</sup>);

Зпр = К \* Ци – затраты на приобретение и доставку инструмента потребителю, руб;

К – количество инструментов, необходимых на выполнение программы;

Ци – средняя цена одного инструмента, руб;

Упр – упущенная прибыль из-за простоев оборудования по вине инструмента, руб;

Зрем – затраты на ремонт и оснащение инструмента комплектующими, руб;

Зпод = (Тзат + Тнал + Туст + Тнастр) \* Сч \* Ксум – затраты на эксплуатацию инструмента при выполнении программы Q, руб;

Тзат – нормативное время на 1 заточку инструмента, час;

Тнал – нормативное время на 1 наладку инструмента, час;

Туст – нормативное время на 1 установку инструмента в станок, час;

Тнастр – время поднастройки станка при смене инструмента, час;

Сч – часовая ставка рабочего, руб/час;

Ксум – суммарное число периодов стойкости инструмента за время выполнения программы Q;

Упр – упущенная по вине инструмента прибыль,  $Упр = Q * Цед * R * q * k$

Цед – цена единицы выпускаемого изделия, руб/м (руб/м<sup>2</sup>, руб/м<sup>3</sup>);

R – рентабельность производства, %;

q – доля прибыли, приходящаяся на рабочие места с данным режущим инструментом;

k – коэффициент потери рабочего времени станка по вине инструмента.

В общем случае

$$k = (Тзат + Тнал + Туст + Тнастр) * Ксум / T .$$

$T = 1800$  ч – рабочее время на выполнение годовой программы Q.

В каждом конкретном случае следует учитывать фактическое время простоя оборудования при смене инструмента. Например, если на предприятии имеется несколько одинаковых комплектов инструмента, то заточка и наладка дополнительных комплектов производится во время работы первого комплекта и не вызывает увеличения времени простоя оборудования. Инструмент с поворотными неперетачиваемыми пластинами не затачивают, а налаживают обычно во внерабочее время; применение этого инструмента исключает необходимость поднастройки станка при смене инструмента. Поэтому при расчете коэффициента k учитывают только время на установку инструмента Туст.

Численное значение коэффициента q (долю прибыли, приходящуюся на рабочие места с данным режущим инструментом) может помочь выбрать экономист предприятия.

По критерию приведенных затрат можно решать два типа задач: выбор оптимальной конструкции инструмента и выбор наиболее выгодного его производителя.

#### Примеры выбора типа инструмента по минимуму приведенных затрат

Для иллюстрации описанной методики выбора типа инструмента следует рассмотреть изготовления такой продукции, для которой реально могут применяться максимально большое количество типов инструмента.

Сравнение **насадных фрез** выполним на примере обработки погонажных изделий, например половой доски.

Требуется приобрести инструмент для изготовления половой доски толщиной 28 мм на 4-х стороннем продольно-фрезерном станке С16-4А. Объем производства – 3500 м<sup>3</sup> (приблизительно 1250000 погонных метров) половой доски из хвойной древесины. Шероховатость обработанных поверхностей не более  $Rm \max = 100$  мкм.

Из паспорта станка берем необходимые для выбора инструмента параметры. Диаметры оправок левого и правого шпин-

делей, на которые будут установлены фрезы для обработки шпунта и гребня половой доски, 40 мм. Частота вращения шпинделей  $6000 \text{ мин}^{-1}$ , скорость подачи плавно изменяется в диапазоне от 7 до 42 м/мин. Максимально допустимый диаметр фрез 180 мм.

Суммарное время работы станка в год 2000 час. С учетом коэффициента использования станка 0,7, рабочее время составляет  $2000 \times 0,7 \times 60 = 84000$  мин. Тогда скорость подачи  $V_s$  для обеспечения заданной программы должна быть не меньше  $1250000/84000 = 14,9$  м/мин. Принимаем  $V_s = 15$  м/мин. При наличии сучков и косослойных участков величина угла подачи может принимать самое неблагоприятное для шероховатости обработанной поверхности значение  $\varphi_{\text{под}} = 30^\circ$ . Подача на зуб, обеспечивающая при продольно-торцовом фрезеровании шероховатость  $R_{z\text{max}} = 100$  мкм,  $S_z = 0,4$  мм.

Определяем число зубьев фрезы  $z$ :

$$z = 1000 V_s / (n * S_z) = (1000 * 15) / (6000 * 0,4) = 6,25. \text{ Принимаем } z = 6.$$

Особенностью фрез для обработки половой доски является необходимость обеспечения постоянства ширины паза и гребня в течение всего времени эксплуатации фрез. Для изготовления половой доски пригодны все типы цельных составных и сборных фрез, имеющих требуемый профиль, наружный диаметр до 180 мм, посадочный диаметр не менее 40 мм и 6 зубьев.

По каталогу «Дереворежущий инструмент», составленному сотрудниками ВНИИинструмент и изданному в 1997 г. в Екатеринбурге, в разделе «Фрезы для обработки деталей для строительства» (стр.122-140) находим:

1. Фрезы цельные стальные составные саморегулирующиеся по ГОСТ 13235 для обработки брусков для покрытия полов ( $D = 160$  мм,  $d = 60$  мм,  $B = 40$ ,  $z = 6$ ). Обозначение фрезы для паза 3232-0351, для гребня 3236-0351. Изготовители – Каменец-Подольский завод дереворежущего инструмента (Украина), АО «Томский инструмент», АО «Свердловский инструментальный завод».

2. Фрезы цельные составные остроконечные, оснащенные пластинами твердого сплава, для обработки досок для покрытия полов по ТУ2-035-878 ( $D = 180$  мм,  $d = 60$  мм,  $B = 40$ ,  $z = 6$ ). Обозначение фрезы для шпунта 3232-4005, для гребня 3236-4005. Изготовитель – Каменец-Подольский завод дереворежущего инструмента.

3. Фрезы сборные одинарные остроконечные с толстыми (8 мм) ножами из инструментальной или быстрорежущей стали, а также твердого сплава для обработки пазов и гребней в досках для покрытия полов ( $D = 160$  мм,  $B = 40$ ,  $d$  и  $z$  – по заявке заказчика). Изготовитель – ООО «Инфлекс» (Москва).

Любой из этих инструментов подходит для выполнения поставленной задачи. Следует только иметь в виду, что при использовании фрез с  $d = 60$  мм потребуются переходные втулки-оправки с внутренним 40 и наружным 60 мм диаметрами. В конце справочника можно найти адреса всех упоминаемых в нем изготовителей инструмента.

Ознакомление с каталогами различных инструментальных фирм позволит найти и других изготовителей насадных фрез для обработки половой доски.

Например, фирма «Leitz» (Германия) выпускает регулируемые блоки фрез цельных затылованных. Они позволяют обрабатывать доски толщиной от 28 до 50 мм с шириной шипа от 8 до 15 мм. Обозначение фрез AF 200-2, тип 1 (изготовлен целиком из инструментальной стали,  $D = 180$  мм,  $d = 60$  мм,  $z = 6$ ) и тип 2 (с напаянными пластинками быстрорежущей стали,  $D = 160$  мм,  $d = 60$  мм,  $z = 6$ ).

Фирма «Удача» (Киев) предлагает сборные одинарные фрезы с однокромочными, а «Элси» (Муром) и «Инфлекс» – сборные составные фрезы с многокромочными неперегачиваемыми пластинами твердого сплава.

Если бы среди перечисленных инструментов нашлась фреза с максимальным периодом стойкости и ресурсом и при этом имела бы минимальную стоимость и затраты на эксплуатацию, то задача выбора инстру-



мента решалась бы просто. Но это не так, каждая конструкция имеет как достоинства, так и недостатки. Это дает возможность не совсем добросовестным изготовителям и продавцам инструмента подчеркивать достоинства и не упоминать о недостатках предлагаемого ими инструмента. Только комплексный количественный критерий позволяет получить объективную оценку конструкции.

В табл. 7. выполнен расчет приведенных затрат для 6 типов насадных фрез при изготовлении погонажных изделий на 4-х стороннем станке. В третьей колонке таблицы указано, как рассчитывается численная величина каждого показателя. Для ряда показателей есть необходимость дать дополнительные пояснения.

Допустимое количество переточек и время на заточку цельных фрез, а также время установки фрез в станок берутся по официальным нормативам (см.табл.1,2,3).

Среднее число поворотов неперетачиваемых пластин взято как средневзвешенное по соотношению используемых одно-, двух- и четырехкромочных пластин в соответствующих фрезах.

Среднечасовая ставка рабочего-заточника в сегодняшних условиях для каждого предприятия своя. В расчете принято, что месячный оклад рабочего 7000 руб, что соответствует часовой ставке 42 руб.

Для проведения анализа следует собрать информацию о стоимости инструмента и комплекта запасных ножей или пластин сборных фрез.

Т а б л и ц а 7

**Расчет приведенных затрат на инструмент для обработки половой доски**

№	Показатель	Расчет	Цельные затылованные фрезы	Со-ставн. неза-тыло-ван-ные фрезы	Сборные фрезы			
					Толстые ножи		Тонкие неперетачиваемые пластины	
			Сталь-ные лезвия	На-пайны е твер-до-сплав-ные лезвия	Сталь-ные цель-ные	Твер-до-сплав-ные напай-ные	Одно-кром-очные	Мно-гокром-очные
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Программа выпуска Q, м/год	по заданию	1250000	1250000	1250000	1250000	1250000	1250000
2	Рабочее время на выполнение программы, ч	2000*0,7	1400	1400	1400	1400	1400	1400
3	Скорость подачи Vs, м/мин	[1]/(60x[2])	15	15	15	15	15	15
4	Стойкость режущей кромки Tпог, м	таб. 3.	324	3075	324	3075	4393	4393
5	Число зубьев фрезы z	1000 Vs /(nxSz)	6	6	6	6	6	6
6	Стойкость фрезы, м	[4]x[5]	1944	18450	1944	18450	26358	26358
7	Допустимое число переточек ножей i (среднее число поворотов пластин)	по действующим нормативам	60	8	8	8	1,5	3,5
8	Допустимое число ремонтов напайных или перестановок ножей (пластин) сборных фрез	по действующим нормативам	-	4	200	200	200	200
9	Ресурс ножа (поворотной пластины) ΣТн, м	[4]x[7]	-	-	2592	24600	6590	15376
10	Ресурс фрезы ΣТпог, м	[6]x[7]; [8]x[9]	116640	590400	518400	4920000	1317900	3075100

## СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Потребное количество одинаковых блоков	[1]/[10]	10,72	2,12	2,41	0,25	0,95	0,41
12	Цена одного блока фрез, Ц <sub>1</sub> руб	по прайс-листам	3000	6000	5000	7000	12000	15000
13	Кол.блоков фрез в минимальном для выпуска продукции комплекте К	по технологии	4	4	4	4	4	4
14	Цена минимального комплекта фрез Ц <sub>и</sub> , руб	[12]x[13]	12000	24000	20000	28000	48000	60000
15	Затраты на приобретение фрез Зпр, руб/год	[11]x[14]	128601	50813	48225	7114	45527	24389
16	Цена одного ремонта с перепайкой зубьев	по прайс-листам		5000				
17	Цена 1 комплекта ножей (пластин), руб	по прайс-листам			3000	8000	4500	5040
18	Количество запасных ножей (пластин), компл	[1]/([6]x[7])			80	8	32	14
19	Затраты на ремонт или переоснащение фрез Зрем, руб	[8]x[11]x[13]x[16]+[17]x[18]	0	169377	241127	67751	142272	68290
20	Время на заточку одного блока (поворот или замену пластин), Тзат+Тнал, час	по действующим нормативам	1,3	1,7	1,0	1,2	0,1	0,2
21	Время установки переточенных фрез и настройки станка, Туст+ Тнастр, час	по действующим нормативам	0,7	0,7	0,7	0,7	0,1	0,1
22	Стоимость досок, расходуемых на одну настройку, 5*Цед руб	из расчета 5 п.м. на одну настройку	60	60	60	60	-	-
23	Общее количество заточек и установок фрез Ксум	[1]x[13]/[6]	2572	271	2572	271	190	190
24	Средняя часовая ставка рабочего, Сч руб/час	Принимается по данным предприятия	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0
25	Суммарные затраты на подготовку инструмента Зпод, руб	(([20]+[21])x[23]x[24]+[22])	370370	43577	337963	37886	1593	2390
26	Цена единицы продукции, Цед руб/м	по прайс-листам	12	12	12	12	12	12
27	Прибыль от реализации при рентабельности R=15% , руб	[1]x[26]x0,15	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000
28	Доля прибыли, приходящаяся на 1 час работы 4-х стороннего станка, руб/час	из расчета q=0,5	562,5	562,5	562,5	562,5	562,5	562,5
29	Суммарное время простоя оборудования по вине инструмента, час	[21]x[23]	1800,4	189,7	1800,4	189,7	19,0	19,0
30	Упущенная прибыль из-за простоя оборудования по вине инструмента Упр, руб	[28]x[29]	1012731	106707	1012731	106707	10670	10670
31	Всего затраты на инструмент, руб	[15]+[19]+[25]+[30]	1511703	370474	1640046	219458	200063	105740
32	Приведенные затраты Пз, руб/м	[31]/[1]	1,21	0,30	1,31	0,18	0,16	0,08

Рекомендуется выбрать тот тип фрез и того производителя инструмента, для которых величина приведенных затрат будет минимальной.

По результатам расчета можно сделать несколько содержательных выводов.

1. Предложенная методика является эффективным средством количественного анализа и принятия оптимального решения.

2. Минимум приведенных затрат соответствует фрезам с многокромочными неперетачиваемыми поворотными пластинками твердого сплава. На втором и третьем местах с очень маленькой разницей фрезы с однокромочными неперетачиваемыми пластинками и сборные фрезы с твердосплавными напайными ножами. Далее идут цельные фрезы с напаянными пластинками

твердого сплава, цельные стальные затылованные фрезы и сборные со стальными ножами.

3. Приведенные затраты на режущий инструмент оказались тем меньше, чем выше разовые затраты на его приобретение. Следовательно, качество инструмента повышалось быстрее, чем цены на него. Известный афоризм остается в силе и в устах деревообработчика может звучать так: «Я не настолько богат, чтобы покупать дешевый инструмент».

4. Для выполнения разовых заказов рационально применять сборные фрезы с толстыми напайными ножами или цельные фрезы с напаянными пластинками твердого сплава.

5. При серийном выпуске продукции следует отдать предпочтение сборным фрезам с неперетачиваемыми пластинами, в первую очередь многокромочными поворотными.

Кажущаяся трудоемкость расчета не должна отпугивать читателя. Достаточно один раз занести в компьютер электронную таблицу и далее вносить в нее конкретные исходные данные для различных инструментов и предприятий.

Рассмотрим далее два примера выбора **круглых пил**.

1. Выбрать пилу для продольного пиления дубовой доски толщиной 80 мм на станке модели ЦДК4-2 при скорости подачи 30 м/мин; допустимая шероховатость поверхности не более 200 мкм.

Для распиловки дубовых заготовок можно применить как стальные плоские пилы по ГОСТ 980-80 (тип 1, так как распиловка продольная, исполнение 1, так как пиление производится на станке), так и дисковые с пластинками твердого сплава по ГОСТ 9769-79 (тип 2, так как распиловка продольная).

Из паспорта станка определяем частоту вращения пилы (3000 об/мин) и диаметр посадочного отверстия пилы ( $d = 50$  мм).

Расчетное число зубьев при  $Sz = 0,2$  мм (табл. 3.6.),  $z = 1000 \cdot 30 / (3000 \cdot 0,2) = 50$ .

Диаметр пил для раскроя доски толщиной 80 мм должен быть, как показано выше,  $D = 360$  мм для стальной пилы и  $D = 250$  мм для твердосплавной пилы.

По уже упомянутому каталогу «Дереворежущий инструмент» находим для стальных плоских пил (ГОСТ 980-80, тип 1, исп.1) при  $D = 360$  мм, ближайшее к расчетному стандартное число зубьев  $Z = 48$ . Такие пилы выпускаются трех толщин: 2,0; 2,2; 2,5 мм. Учитывая достаточно тяжелые условия работы (распиловка древесины дуба, высота пропила 80 мм, скорость подачи 30 м/мин) выбираем толщину пилы 2,2 мм. Таким образом, определены все необходимые параметры стандартизованной круглой пилы:

– пила круглая плоская по ГОСТ 980-80, тип 1, исполнение 1,  $D = 360$  мм,  $d = 50$  мм,  $B = 2,2$  мм,  $z = 48$ , обозначение 3420-0180.

Аналогично находим параметры твердосплавной пилы:

– пила дисковая с твердосплавными пластинами по ГОСТ 9769-79, тип 2,  $D = 250$  мм,  $d = 50$  мм,  $B = 2,8$  мм,  $z = 56$ , обозначение 3420-0487.

2. Выбрать пилы для форматной обработки мебельных щитов на линиях типа МФК.

В каталоге «Дереворежущий инструмент» указаны твердосплавные подрезные пилы  $D = 160$  мм,  $d = 32$  мм,  $B = 3,0$  мм,  $Z = 24$ . Обозначение 3429-4003 (правые пилы) и 3429-4004 (левые пилы). Основные пилы комбинированные (дробилки)  $D = 250$  мм,  $d = 40$  мм,  $B = 35$  мм,  $Z = 56$ . Обозначение 3219-6010 (правые пилы) и 3219-6011 (левые пилы).

Алмазные пилы аналогичного назначения и размеров освоены московским АО ЦНИИТИ. Для линий форматной обработки и облицовки кромок щитов качество пиления определяется величиной сколов облицовочного материала на пласти щита. Подача на зуб должна быть не более 0,04 мм. Скорость подачи  $V_s = (Sz \times Z \times n) / 1000 = (0,04 \times 56 \times 6000) / 1000 = 13,4$  м/мин.

Пилы с нужными параметрами изготавливаются рядом отечественных или зару-

бежных инструментальных фирм. Номенклатура этих пил настолько широка, что ни упомянутый каталог, ни иной справочник не может дать по ним достаточно полную информацию. Такую информацию о специальных инструментах можно почерпнуть из фирменных каталогов. Порядок выбора пил по каталогу ничем не отличается от приведенного выше.

Для обоснованного выбора конкретного типа пилы выполним расчет приведенных затрат для этих двух случаев (табл. 8).

Значения стойкости и допустимого числа переточек стальных и твердосплавных пил взяты по официальным нормативам, а по алмазным – по данным их изготовителя ЦНИИТИ: стойкость пил 350 час, допустимое число переточек 10.

Т а б л и ц а 8

Расчет приведенных затрат на пилы круглые

№ п/п	Показатель	Расчет	Раскрой дубовых досок		Раскрой облицованных ДСтП	
			Стальные пилы	Твердосплавные пилы	Твердосплавные пилы	Алмазные пилы
1	Рабочее время на выполнение программы, час	200*0,7	1400	1400	1400	1400
2	Скорость подачи, м/мин	Расчет приведен в тексте	30	30	13,4	13,4
3	Стойкость пилы, час	По действующим нормативам	6	65	50	350
4	Допустимое число переточек пилы		33	24	20	10
5	Ресурс пилы, час	[4] * [3]	198	1560	1000	3500
6	Потребное количество пил	[1] / [5]	7,1	0,9	1,4	0,4
7	Цена одного комплекта пил, руб	По прайс-листам	270	670	970	60000
8	Годовые затраты на приобретение пил, руб	[6] * [7]	1909	601	1358	24000
9	Общее количество заточек и установок пил	[4] * [6]	233	22	28	4
10	Стоимость одной заточки, руб	Расчет приведен в тексте	120	150	250	11430
11	Годовые затраты на заточку пил, руб	[9] * [10]	28000	3231	7000	45720
12	Время установки пил и настройки станка, час	По действующим нормативам	0,1	0,1	0,2	0,2
13	Средняя часовая ставка рабочего, руб/час	Расчет приведен в тексте	42,0	42,0	42,0	42,0
14	Суммарное время установки пил, час/год	[9] * [12]	23	2	5,6	0,8
15	Годовые затраты на установку пил, руб	[13] * [14]	700	65	168	24
16	Общие годовые затраты на инструмент, руб	[8] + [11] + [15]	30609	3897	8526	69744
17	Суммарная длина обработанных за год заготовок, м	{[1] – 14} * [2]	247800 0	251612 3	112109 8	112249 57
18	Приведенные затраты, руб/м	[16] / [17]	0,012	0,002	0,008	0,062

Результаты расчета приведенных затрат позволяют сделать следующие выводы.

При продольной распиловке дубовых заготовок применение пил с пластинами твердого сплава дает значительную экономию по сравнению со стальными пилами.

При форматной обработке ДСтП применение алмазных пил, несмотря на существенное повышение периода стойкости по сравнению с твердосплавными пилами, пока экономически не целесообразно. Алмазные пилы станут конкурентоспособными при снижении их стоимости и, главным образом, при более доступной и дешевой их заточке.

### **Выбор конкретного производителя инструмента**

Выбор производителя или поставщика инструмента может быть выполнен по критерию минимума приведенных затрат по описанной выше методике. Однако в некоторых случаях рационально использовать несколько видоизмененную методику. Покажем это на примере сопоставления комплектов сборных фрез с неперетачиваемыми поворотными пластинами твердого сплава для изготовления современных одностворчатых окон со стеклопакетом («евроокон»). Эти комплекты достаточно дороги и понятно желание многих изготовителей окон максимально снизить разовые капиталовложения, особенно при организации нового производства. Инструментальные фирмы, стремясь удовлетворить желания потребителей с ограниченными финансовыми возможностями, предлагают для производства евроокон на универсальных фрезерных станках минимальные (или, как их часто называют торгующие фирмы, «экономные») комплекты двухзубых фрез. При этом наметилось два подхода к решению этой задачи.

Ряд зарубежных и отечественных инструментальных фирм выпускают комплект из 21–22 одинарных фрез, втулки-оправки и набора проставочных колец. Из этих элементов, как из конструктора, поочередно можно собрать 12 блоков фрез для обработки окна. В фрезе достаточно ши-

роко применяются массивные и дорогие пластины. При сборке некоторых блоков требуется снятие или установка дополнительных пластин. Для минимизации количества одинарных фрез и стоимости комплекта потребовалось несколько изменить конструкцию окна. Средняя цена такого комплекта 149500 р., цена набора запасных пластин 32720 р.

В другом варианте минимальный комплект состоит из 27 отдельных блоков фрез, собираемых на втулках-оправках в 11 стационарных блоков. Фрезы укомплектованы неперетачиваемыми двух или четырехкромочными пластинами твердого сплава ведущих европейских производителей. За счет оригинальных конструктивных решений полностью исключено применение массивных и дорогих пластин. Цена такого комплекта 173000 р., цена запасного комплекта пластин 34275 р..

Минимальный комплект позволяет изготовить прямое безимпостное окно с поворотными и поворотно-откидными створками из готового калиброванного бруса сечением 80 × 80 мм. Такой блок размером 1,5 × 1,5 м и примем в качестве базового. Оконный блок состоит из трех сборочных единиц – коробки, левой и правой створок.

Первое решение (набираемые перед установкой на станок блоки фрез) в принципе позволяет более радикально снизить стоимость инструмента, но ему присущи и существенные недостатки (не оптимальная конструкция окна как плата за унификацию фрез; снижение выпуска продукции из-за неизбежных простоев фрезерного станка во время разборки и сборки блоков фрез).

Второму решению (стационарные блоки фрез) не присущи указанные выше недостатки. Более того, оно позволяет существенно увеличить объем выпуска продукции путем установки нескольких станков, например профилирование брусков вести на одном станке, зарезку шипов и проушин на другом и обгон створок по периметру на третьем. Недостаток этого решения – большая цена комплекта инструмента и запасных пластин.

Так как каждому техническому решению присущи достоинства и недостатки, необходимо сравнить их по объективному количественному критерию приведенных затрат.

Все 12 брусков, из которых собирают коробку и две створки, предварительно торцуют точно в размер деталей. На фрезерном станке с кареткой и автоподатчиком на каждой детали с обоих торцов нарезают шипы или проушины и обрабатывают внутренний профиль. Шипы и проушины обрабатывают одновременно на двух брусках, закрепляемых на каретке. Профилирование брусков выполняют с применением автоподатчика. Затем собирают на вайме узлы окна – коробку и створки. Собранные створки закрепляют на каретке фрезерного станка и со всех 4-х сторон обрабатывают наружный профиль. Далее собранные узлы поступают на отделку и затем на сборку окна (установка стеклопакетов, фурнитуры и закрепление створок в коробке).

Для механической обработки деталей и узлов окна на фрезерном станке по данной технологии требуется следующие блоки фрез: 2 блока для обработки проушин в стойках коробки и створок, 3 блока – для обработки шипов в поперечинах створок и коробки, 3 блока – для обработки внутренних профилей створок и коробки, 3 или 4 блока для обгонки створки по периметру (табл. 9.). Различное потребное количество блоков объясняется различным подходом к формированию фурнитурного паза.

При использовании комплекта стационарных блоков фрез весь периметр створки (кроме внутренней стороны поворотной створки, требующей отдельного блока для обработки безимпостного профиля) могут быть обработаны одним достаточно сложным и дорогим блоком фрез за семь проходов с одновременным формированием фурнитурного паза.

В наборных комплектах обработка ведется двумя блоками более простых и дешевых фрез. В этом случае кроме тех же 7 проходов основным блоком для наружного профиля створки, отдельным блоком фрез за

3 дополнительных прохода обрабатывают фурнитурный паз на двух боковых и верхней стороне поворотно-откидной створки.

Цикл обработки одного окна на фрезерном станке складывается из времени отдельных проходов деталей и узлов.

Время одного прохода  $T_1$  рассчитаем по формуле

$$T_1 = t_1 + t_2 + t_{об} + t_{xx},$$

где  $t_1$  – время, расходуемое на то, чтобы взять заготовку из штабеля и установить на стол станка;

$t_2$  – время, расходуемое на то, чтобы снять заготовку со стола станка и уложить в штабель; по результатам хронометража примем  $t_1 = t_2 = 10 \text{ с} = 0,17 \text{ мин}$ ;

$t_{об} = (L_{об} + L_1 + L_2)/V_s$  – время обработки детали на станке;

$t_{xx} = t_{об}/3$  – время возврата каретки при резании шипов и проушин;

$L_{об}$  – длина обработки детали, равная в нашем случае 1,5 м при профилировании брусков коробки и стоек створок, 0,75 м при профилировании поперечин створок и 0,16 м при резке шипов и проушин (2 бруска шириной 80 мм);

$L_1 = L_2 = 0,2 \text{ м}$  – длина подвода и выхода заготовки из зоны резания;

$V_s = (S_z * z * n) / 1000$  – скорость подачи заготовки, м/мин.

Скорость подачи на операциях обработки шипов и проушин 1,8 м/мин ( $S_z = 0,3 \text{ мм}$ ,  $z = 2$ ,  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ ), на операциях профилирования брусков и обработки створок по периметру 6,0 м/мин ( $S_z = 0,5 \text{ мм}$ ,  $z = 2$ ,  $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$ ).

На производительность механической обработки влияет не только время цикла изготовления одного базового оконного блока, но и баланс рабочего времени. При 8 часовой смене и коэффициенте рабочего времени 0,9 общий ресурс рабочего времени смены составляет 432 мин.

В периоды смены, а в случае сборно-разборного комплекта и сборки блоков инструмента, станок не работает. При использовании комплекта стационарных блоков за

смену будет произведено 11 установок инструмента, а при использовании сборно-разборного комплекта – 12 установок и сборок-разборок инструмента. Путем хронометрирования на производстве установлены нормы времени на смену (5 мин) и сборку-разборку (20 мин) одного блока фрез. Затраты времени в первом случае составят  $11 \times 5 = 55$  мин, во втором –  $12 \times (5 + 20) = 300$  мин.

Время собственно работы станка при использовании стационарного комплекта  $432 - 55 = 377$  мин, а при использовании сборно-разборного комплекта  $432 -$

$300 = 132$  мин. Разделив это время на  $T_{ц}$  (табл. 7.9.) получим сменную производительность Псм. Для стационарного комплекта  $P_{см} = 377/23,04 = 16$  оконных блоков (36 кв. м. окон). Для сборно-разборного комплекта  $P_{см} = 132/25,16 = 5$  оконных блоков (11,25 кв. м. окон). При среднем числе смен в году 250 годовое производство окон при односменной работе составляет соответственно 4000 оконных блоков (9 000 кв.м.) при использовании стационарного комплекта и 1250 оконных блока (2 812 кв.м.) при использовании сборно-разборного комплекта.

Т а б л и ц а 9

**Суммарные длина обработки  $L_{об}$  и время цикла  $T_{ц}$  изготовления базового оконного блока**

Назначение блока фрез	Обрабатываемые детали и узлы	Кол-во проходов длиной $l$ , мм			Длина обработки $L_{об}$ , м
		160	750	1500	
1. Обработка шипа коробки	Верхняя поперечина коробки	1			0,16
2. Обработка шипа низа коробки	Нижняя поперечина коробки	1			0,16
3. Обработка проушины коробки	Стойки коробки	2			0,32
4. Обработка шипа створки	Поперечины створки	4			0,64
5. Обработка проушины створки	Стойки створки	4			0,64
6. Профилирование бруска коробки	Стойки и верхняя поперечина коробки			3	4,50
7. Профилирование нижнего бруска коробки	Нижняя поперечина коробки			1	1,50
8. Профилирование бруска створки	Стойки и поперечины створок		4	4	9,00
9. Обработка наружного профиля собранной створки	Стойки и поперечина собранных створок		4	3	7,5
10. Обработка безим-постного профиля собранной створки	Стойка собранной поворотной створки			1	1,50
11. Обработка профиля капельника	Нижние поперечины собранных створок		2		1,50
12. Обработка фурнитурного паза (только для сборно-разборного комплекта)	Стойки и верхняя поперечина собранной поворотно-откидной створки		1	2	3,75
Всего проходов на обработку одного базового оконного блока	Стационарным комплектом	12	10	12	Суммарное время $T_{ц}$ на 1 оконный блок, мин
	Сборно-разборным комплектом	12	11	14	
Время одного прохода $T_1$ , мин	При профилировании	-	0,53	0,66	
	При использовании каретки	0,755	0,596	0,763	
Время обработки одного базового оконного блока	Стационарным комплектом	9,06	5,72	8,32	<b>23,04</b>
	Сборно-разборным комплектом	9,06	6,32	9,84	<b>25,16</b>

Поворот или замена затупившихся неперетачиваемых пластин твердого сплава – достаточно трудоемкая процедура, требующая порядка 6 часов на 12 блоков фрез. При этом разбирают блоки, снимают пластины, тщательно очищают корпуса, гнезда под пластины и сами пластины от стружки, смолы и других загрязнений. Так как эта операция обычно проводится во вне рабочее время, на баланс времени работы станка она не влияет. Но затраты на поворот и замену пластин необходимо учитывать при расчете суммарных годовых затрат на инструмент.

Периодичность поворотов и замены затупившихся пластин определяется наработкой лезвия до отказа и средней суммарной длиной обработки. При зарезании шипов и проушин длиной 80 мм в сосновых за-

готовках наработка одного лезвия 550 м, при профилировании брусков и собранных створок со средней глубиной фрезерования 15 мм – 2450 м.

Сравнение вариантов экономных комплектов по годовой прибыли производства и приведенным затратам на режущий инструмент выполнено в табл. 10.

Остановимся на численных значениях некоторых параметров таблицы, не обоснованных ранее.

Средняя длина обработки одним блоком фрез одного базового окна (табл. 9.) составляет при профилировании  $(4,5+1,5+9,0+7,5+1,5+1,5+3,75)/5 = 4,18$  м.

При расчете годовых затрат на приобретение комплекта фрез принято, что срок службы корпусов фрез составляет 5 лет.

Т а б л и ц а 1 0

**Расчет годовой прибыли и приведенных затрат на инструмент при изготовлении оконных блоков минимальными комплектами фрез**

№	Показатель		Расчет	Стационарным	Сборно-разборным
1	Годовая программа выпуска оконных блоков	кв.м	Численные значения параметров обоснованы в тексте	9000	2812
2		штук		4000	1250
3	Средняя длина обработки одним блоком, м			4,18	4,18
4	Наработка лезвия, м			2450	2450
5	Число зубьев фрез			2	2
6	Среднее число режущих кромок пластин			3,2	3,2
7	Сумм. длина обработки одним блоком, м/год		[2]x[3]	16720	5225
8	Наработка фрезы, м		[4]x[5]	4900	4900
9	Ресурс фрезы, м		[6]x[8]	15680	15680
10	Цена комплекта фрез, руб		По прайс-листам	173000	149500
11	Цена запасного комплекта пластин, руб			34300	32700
12	<b>Затраты на приобретение фрез, руб/год</b>		$([10]-[11])/5+[11]$	<b>62040</b>	<b>56060</b>
13	Количество режущих кромок, необходимых для выполнения программы		[7]/[8]	3,4	1,1
14	Потребное количество запасных пластин, комплектов/год		[7]/[9] – 1	0,07	– 0,67
15	<b>Затраты на приобретение запасных пластин, руб/год</b>		[11]x[14]	<b>2400</b>	<b>– 21910</b>
16	Время поворота (замены) пластин, ч		6ч x [13]	20,4	6,6
17	<b>Затраты на поворот (замену) пластин, руб /год</b>		47руб x [16]	<b>960</b>	<b>310</b>
18	<b>Суммарные затраты на инструмент, руб /год</b>		[12]+[15]+[17]	<b>65400</b>	<b>34460</b>
19	Цена единицы продукции, руб /кв.м		По прайс-лист	5600	5600
20	<b>Прибыль от реализации при 15% рентабельности., руб</b>		0,15 x [1] x [19]	<b>7560000</b>	<b>2362080</b>
21	<b>Приведенные затраты на режущий инструмент, руб /кв.м.</b>		[18]/[1]	<b>7,27</b>	<b>12,25</b>



Пусть читателя не смущают отрицательные значения потребного количества запасных пластин и затрат на их приобретение для сборно-разборных комплектов. Дело в том, что эти комплекты более 2/3 рабочего времени находятся в состоянии подготовки, не режут древесину и, соответственно, не изнашиваются. Поэтому комплекта пластин, поставляемых сразу с фрезами, хватает на 3 года. Только за этот срок они смогут обработать 9000 м<sup>2</sup> оконных блоков, которые стационарный комплект выполняет за 1 год при односменной работе.

Результаты расчета убеждают, что сборно-разборные комплекты, позволяющие эффективно использовать менее 28 % рабочего времени оборудования, не выдерживают сравнения со стационарным комплектом (79 % полезного использования рабочего времени) ни по приведенным затратам, ни по прибыли. Годовая прибыль производства с использованием стационарного комплекта на 5,1 млн.руб. превышает прибыль от производства с использованием сборно-разборных комплектов фрез.

В завершении следует указать, что все приведенные примеры выполнены для некоторого условного предприятия. Потребителям инструмента необходимо овладеть приведенной методикой и не жалеть времени на аналогичные расчеты для своих конкретных условий работы (объемов производства, уровня зарплаты, цен на сырье и конечную продукцию). Результат не замедлит сказаться.

#### **Технический надзор за эксплуатацией инструмента и обеспечение инструментом рабочих мест**

Рабочие места снабжают режущим инструментом непосредственно из цеховых инструментальных участков или через ИРК. В цехи деревообработки режущий инструмент из ИРК обычно доставляют станочники. Принимать и выдавать инструмент удобно через специальное окно, с наружной стороны которого делают для него столик.

На больших предприятиях для учета выданного инструмента станочник получает под расписку металлические марки, на кото-

рых набит табельный номер станочника. При одномарочной системе рабочий, желающий получить инструмент, дает кладовщику марку и называет нужный инструмент. Выдав требуемый инструмент, кладовщик на его место кладет или вешает марку. После возврата инструмента в ИРК рабочий получает свою марку. При двухмарочной системе рабочий, получив инструмент, передает кладовщику две марки: одну из них кладут на место взятого инструмента, другую вешают на крючок контрольной доски. По доске кладовщик все время видит, на каком рабочем месте находится в данный момент любой инструмент.

Безмарочная система осуществляется по принципу «инструмент за инструмент», т. е. производится обмен затупленного инструмента на заточенный. Эта система может использоваться в комбинации с марочной. В данном случае безмарочная система применяется только для выдачи инструмента с небольшим периодом стойкости и большим количеством в комплекте (например, поставленных рамных пил, комплект рубительных ножей, комплект профильных составных фрез). Инструмент длительного пользования (пилоправный, контрольно-измерительный и др.) выдается под расписку в лимитной карточке рабочего.

Инструмент из ЦИС в ИРК доставляют транспортные рабочие по установленному графику. Для этого следует использовать специально оборудованные тележки, автокары или автомобили. Инструмент в ИРК получают, устанавливают в станок и возвращают станочники производственных цехов. При размещении инструментального цеха (заточной мастерской) на значительном расстоянии от производственного цеха доставка инструмента может поручаться транспортным рабочим.

В лесопильном производстве при размещении заточной мастерской в одном корпусе с лесопильным цехом, доставка инструмента к рабочим местам и возврат рамных и круглых пил на переподготовку часто производят рабочие-инструментальщики, которые и производят установку пил в ста-

## СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

нок. Доставку ножей рубительных машин, короснимателей окорочных станков производят слесари, выполняющие установку этого инструмента и обслуживание станка.

Технический надзор за эксплуатацией режущего инструмента осуществляется инструментальной службой и ОТК предприятия. Комплекс работ по техническому надзору включает контроль качества подготовки инструмента; соблюдение норм его расхода; устранение причин поломок и повышенного износа инструмента; проверку правильности установки и эксплуатации инст-

румента в производственных цехах; проведение инструктажа станочников; проверку соответствия используемых режимов резания требованиям нормативно-технической документации; проверку состояния хранения инструмента на рабочих местах, в ИРК и ЦИС.

Для контроля фактического расхода инструмента работниками инструментальной службы заполняются специальные документы, рекомендуемые формы которых приведены ниже. Форма 1 учитывает расход инструмента по производственным цехам.

### Форма 1

#### Ведомость учета фактического расхода инструмента в цехе №за \_\_\_\_\_ месяц \_\_\_\_\_ г.

№№ пп	Наименование инструмента	Основные размеры	Норма расхода	Получено со склада		Монотонный износ инструмента		Поломка инструмента	
				Дата	Кол-во	Дата	Кол-во	Дата	Кол-во

### Форма 2

#### Акт на поломку или утерю инструмента Цех № \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ месяц \_\_\_\_\_ г.

Наименование инструмента \_\_\_\_\_

Размеры инструмента \_\_\_\_\_

Номер инструмента \_\_\_\_\_

Условия работы инструмента (станок, обрабатываемый материал, режим работы)

\_\_\_\_\_

Причина поломки инструмента \_\_\_\_\_

Годность инструмента до поломки или утери равнялась \_\_\_\_\_ %

ФИО рабочего – виновника поломки или утери инструмента \_\_\_\_\_

За поломанный (утерянный) инструмент с рабочего \_\_\_\_\_  
должно быть удержано \_\_\_\_\_ % стоимости инструмента

Мастер производственного цеха \_\_\_\_\_

Мастер инструментального участка \_\_\_\_\_

На инструмент, пришедший в негодность вследствие нормального износа, составляют акт по форме 3.

Форма 3

**Сводный акт на списание инструмента, пришедшего в негодность**

Цех № \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ месяц \_\_\_\_\_ г.

№№ пп	Номер инструмента	Наименование инструмента	Основные размеры	Кол.	Цена одного инструмента	Сумма
1	2	3	4	5	6	7

Начальник цеха \_\_\_\_\_  
 Мастер инструментального участка \_\_\_\_\_  
 Кладовщик ИРК \_\_\_\_\_

Фактический расход инструмента сравнивают с расходом, определенным по нормативно-технической документации или по формулам (см. статью 3) и делают выводы о рациональности применяемых режимов подготовки и эксплуатации каждого вида инструмента.

Для оперативного устранения недостатков в подготовке и эксплуатации инструмента можно рекомендовать следующую систему. Режущий инструмент принимает и выдает в начале смены (в течение 10.. 15 мин) мастер инструментального участка или опытный заточник. При приемке тщательно осматривают инструмент и делают запись в журнале выдачи и возврата инструмента. По состоянию затупленного инструмента, зная продолжительность его работы на станке, делается вывод о наличии отклонений от правильного режима эксплуатации. При необходимости мастер идет со станочником к его рабочему месту, давая конкретные указания по установке инструмента, режиму резания и т. п.

Движение инструмента отражается также в картах складского учета. Периодичность и порядок ведения учета, выдачи, приема и хранения инструмента устанавливаются стандартами предприятия.

Состав и размещение оборудования для подготовки инструмента

Состав оборудования и контрольно-измерительных устройств, необходимых для подготовки дереворежущего инструмента данного предприятия, определяется номенклатурой используемого режущего инструмента.

Количество станков одного вида (например, заточных) для подготовки конкретного инструмента одного вида (например, круглых пил) рассчитывают по формуле

$$S = m \cdot K \cdot n \cdot t_i \cdot F_i / (60T \cdot G),$$

где  $S$  – потребное количество оборудования данного вида для подготовки инструмента, шт.;

$n$  – количество инструмента одного вида, шт.;

$K$  – коэффициент случайной убыли инструмента (см. табл. 2.),

$t_i$  – норма времени на данную операцию подготовки инструмента, мин. (см. табл.1.);

$F_i$  – коэффициент, характеризующий периодичность выполнения данной операции по отношению к заточке (см. табл. 1.);

$T$  – стойкость инструмента, ч (см. табл. 2.);

$G$  – число одновременно подготавливаемых инструментов, шт.;

$m$  – коэффициент, характеризующий сменность использования оборудования для подготовки инструмента

$m_{и}$  по отношению к сменности  $m_{т}$  основного технологического оборудования  $m = m_{т} / m_{и}$ .

Например, на предприятии эксплуатируется 15 рейсмусовых станков, работающих в две смены. На каждом станке установлено четыре ножа длиной 600 мм. Рассчитаем количество  $S$  ножеточильных станков, работающих в одну смену. Коэффициент  $m = 2$ . Количество затачиваемых ножей  $15 \cdot 4 = 60$  шт или 30 пар (так как в табл. 1. приведена норма времени на подготовку пары ножей). Эта норма составляет 4 мин на 100 мм длины ножа. При длине ножа 600 мм норма времени подготовки пары ножей  $t_i = 24$  мин. Коэффициент  $K = 1,05$  (для фрез сборных по табл. 2.), период стойкости по той же таблице при обработке древесины хвойных пород  $T = 10$  ч. На станке можно одновременно затачивать два ножа, т. е.  $G = 2$ .

$$S = (2 \cdot 1,05 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 1) / (60 \cdot 10 \cdot 2) = 2,5$$

Примем три ножеточильных станка ТчН6-4, которые в среднем будут загружены на 80 %.

При наличии на предприятии других дереворежущих станков, установленный на которых инструмент может подготавливаться на том же оборудовании, расчетное количество станков следует просуммировать. В приведенном примере с ножеточильными станками следует рассчитать также количество станков, необходимых для заточки ножей фуговальных и четырехсторонних продольно-фрезерных станков, а также других типов ножей длиной до 600 мм.

В лесопильном производстве количество оборудования для подготовки инструмента лесопильного цеха может быть определено по укрупненным нормам в зависимости от числа лесопильных рам (табл. 11.).

Специализированные станки для подготовки дереворежущего инструмента (например, автоматы для заточки рамных пил ТчПР-2, для заточки ленточных пил ТчЛ-18 вместо универсально-заточного станка ТчПА-5) рационально применять, если име-

ется возможность их загрузки не менее чем на 70 %.

При проектировании новых, реконструкции действующих предприятий и централизованной системе организации инструментального хозяйства рекомендуются два варианта размещения инструментального цеха: в главном корпусе предприятия совместно с производственными цехами; в корпусе вспомогательных цехов, включающем инструментальный, ремонтно-механический, электроремонтный и другие цехи. При наличии на предприятии лесопильного цеха возможно размещение инструментального цеха в корпусе лесопильного цеха.

При планировке инструментального цеха (заточной мастерской) возможны различные принципы размещения оборудования для подготовки инструмента. Предпочтительно территориальное выделение участков для подготовки определенного вида инструмента (пил рамных, пил ленточных, пил круглых, фрез, ножей и др.). Возможно также создание участков по группам одноименного оборудования (заточного, пилоправного и др.). В любом случае при выборе варианта компоновки оборудования следует стремиться к наикратчайшей транспортировке основной массы инструмента и размещению заточных станков в один ряд для улучшения условий создания единой эксгаустерной системы. В качестве примера на рис. 3. приведена планировка оборудования и рабочих мест заточной мастерской типичного деревообрабатывающего предприятия.

На основании компоновки отделений, участков и вспомогательных помещений определяют общую площадь инструментального цеха или заточной мастерской. Планировку оборудования выполняют с учетом норм технологического проектирования цехов вспомогательного производства. При укрупненных расчетах площадь инструментального цеха определяют по показателям общей удельной площади 8–12 м<sup>2</sup> на один станок, 4–6 м<sup>2</sup> на одно приспособление, 5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место слесаря.

**Укрупненные нормы оборудования, необходимого для подготовки инструмента лесопильного предприятия**

Операция подготовки	Модель оборудования	Число станков, шт при числе лесопильных рам		
		2	4	8
Вальцевание рамных пил	ПВ-20	1	1	1
Вальцевание круглых пил	ПВ-35	1	1	1
Плющение зубьев рамных пил	ПХФ	1	2	3
Развод зубьев рамных пил	РПК8	-	-	1
Заточка рамных пил	ТчПР-2	1	2	3
Заточка круглых пил	ТчПА-5	2	3	4
Заточка рубительных ножей	ТчН6-4	1	1	1
Заточка короснимателей	ТчКС	1	1	1
Обрезка и насечка зубьев	ПШП или ПШБ	1	1	1

**Некоторые виды работ при всех вариантах должны выполняться штатными работниками предприятия. Перечислим эти функции:**

Вид работы	Исполнитель
Выбор типа, конструкции и режима эксплуатации инструмента	Технолог
Определение потребности и составление заявки на приобретение стандартного или изготовление специального инструмента	Технолог
Выбор изготовителя или поставщика инструмента	Инженер по инструменту
Приобретение инструмента	Сотрудник отдела снабжения
Входной контроль вновь приобретенного инструмента, оформление рекламаций	Инженер по инструменту
Хранение и пополнение оборотного фонда инструмента	Кладовщик
Учет, хранение и бесперебойное снабжение инструментом рабочих мест	Мастер цеха, кладовщик
Технический надзор за эксплуатацией инструмента	Технолог, инженер по инструменту
Реализация прогрессивных методов повышения стойкости и снижения расхода инструмента	Инженер по инструменту
Прием затупленного инструмента и отправка его на заточку или в ремонт	Кладовщик, инженер по инструменту
Контроль качества заточки и ремонта инструмента, оформление рекламаций	Инженер по инструменту
Утилизация выработавшего ресурс инструмента	Кладовщик

При уточненных расчетах площадь, приходящаяся на один станок или приспособление, принимают равной удвоенной полезной площади, занимаемой этим станком или приспособлением. Подсчитанная по этим нормативам площадь заточной мастерской лесопильного цеха составляет 115 м<sup>2</sup> для двух рамного, 145 м<sup>2</sup> для четырех рамного и 289 м<sup>2</sup> для восьми рамного цехов.

Площадь ИРК должна составлять около 10 % общей площади инструментального цеха и уточняется расчетом в зависимости от видов и объема принятого для хранения режущего инструмента. Наиболее удобная форма для ИРК—вытянутый прямоугольник, по длинной стороне которого находятся окна для выдачи инструмента. Инструмент хранят обычно на сборно-разборных стеллажах типовых конструкций. Стеллажи располагают перпендикулярно длинной стороне помещения. На практике применяют следующие способы хранения инструмента: рамные пилы – в пирамиде в вертикальном положении; ленточные пилы – в подвешенном состоянии на деревянных штырях; круглые пилы – в подвешенном состоянии на штырях или поставленными на ребро в ячейках стеллажа; ножи – в шкафу в наклонном положении (нож от ножа должен быть отделен планкой-вкладышем); фрезы насадные – на стеллажах с открытыми ячейками, наиболее тяжелые на нижних полках; сверла и концевые фрезы – в ячейках стеллажей, либо в специальных подставках с гнездами.

Ширина прохода между стеллажами должна быть не менее 0,8 м. У каждого места хранения инструмента должны быть чет-

кие надписи с указанием его шифра, номера обслуживаемого станка и номера комплекта инструмента. Высота стеллажей не должна превышать 1,7 м, чтобы верхняя полка была легко доступна.

### Заключение

Выбор структуры инструментального хозяйства очень важен для обеспечения успешного функционирования предприятия. Этот вопрос решают при проектировании нового или реконструкции действующего предприятия. Для этого надо рассмотреть все технически реализуемые варианты структуры инструментальной службы с учетом возможности передачи части ее функций инструментальным центрам или другим сторонним организациям. Например, при наличии современных станков автоматов для заточки твердосплавных пил подготовку этого инструмента осуществлять самостоятельно, а заточку остального инструмента передать сторонней организации. Все варианты организации инструментального хозяйства должны быть сопоставлены по объективному экономическому критерию, например годовым затратам на режущий инструмент.

Многие владельцы и руководители деревообрабатывающих предприятий недооценивают, а в некоторых случаях просто не имеют представления о роли инструментальной службы. Даже прибегнув к услугам специализированных инструментальных центров невозможно обойтись без четко налаженной инструментальной службы, укомплектованной квалифицированными специалистами.

## КАФЕДРА МОЕЙ МОЛОДОСТИ

Г.А. ЗОТОВ, доц. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, канд. техн. наук

Студентом третьего курса в 1959 году мне впервые довелось переступить порог кафедры станков и инструментов МЛТИ. Не знаю, отмечался ли в тот год 15-ти летний юбилей кафедры. Но если отмечался, то его могли праздновать преподаватели Ф.М. Манжос, С.А. Воскресенский, П.Т. Иванков, М.Н. Орлов, А.А. Соловьев, Н.А. Кряжев, Н.В. Маковский, завлаб Н.Г. Курышев и учебный мастер В.М. Шершиков. Аспирантами кафедры были Ю.А. Цуканов, Г.А. Комаров, В.В. Амалицкий и В.И. Любченко. (Не могу себе отказать в удовольствии перечислить имена замечательных людей, у которых мне посчастливилось учиться).

Моим руководителем по первому курсовому проекту был Виктор Васильевич Амалицкий. Незадолго до того он убедил меня заняться научной работой по избранной специальности. Эту историю я уже рассказывал, в том числе в форме тоста на юбилее Виктора Васильевича. Поэтому здесь я попробую коротко описать наш разговор, оставив за скобками экзотическую обстановку, в которой он проходил (ночь, подмосковная деревушка, заброшенная церковь, слегка приспособленная для проживания студентов, посланных на летние сельхозработы).

Схема рассуждений Виктора Васильевича была приблизительно следующей. Каждому человеку присуще стремление самоутвердиться. Наиболее естественно, особенно для мужчин, самоутверждение в своей профессии. Для этого недостаточно прилежно учиться. Самые ценные знания – те, которые ты добываешь сам. Процесс добывания новых знаний, исследовательская работа – увлекательное занятие. А неизученных вопросов в области обработки древесины и древесных материалов резанием очень много, хватит на десятки любознательных людей.

Все эти доводы попали на благодатную почву. С осени я уже работал в кружке

научного студенческого общества (НСО) на кафедре станков и инструментов. Этот разговор во многом определил мою дальнейшую судьбу, за что я по сей день глубоко признателен Виктору Васильевичу.

Был еще один небольшой эпизод, окончательно закрепивший меня на кафедре станков и инструментов. В те годы все студенты факультета МТД (Механической технологии древесины) на младших курсах обучались в одном потоке, а в конце 3-го курса специализировались на технологов, механиков и химиков, которые позже выделились в отдельный факультет. Специализация была добровольной, для этого будущий механик или химик должен был написать заявления о зачислении на соответствующую специализацию. Я уже год работал на кафедре по НСО и был крайне удивлен, когда не обнаружил своей фамилии в списках группы механиков. Подошел к замдекана Н.С. Житареву, который мне разъяснил, что строителей аэродромов и штурманов (наши специальности по военной кафедре) должно быть поровну и поэтому я в группе лишний. Я решил подойти к заведующему кафедрой Ф.М. Манжосу. Федор Матвеевич довольно холодно выслушал меня и сказал, что это глупость и этого не может быть. С явной неохотой он встал из-за стола и велел следовать за ним. (Хотел было сказать, что он был уже не молод, но тем не менее ...И только сейчас сообразил: он тогда был моложе меня сегодняшнего на 10 лет.) Пришли в кабинет декана П.П. Аксенова. Федор Матвеевич попросил разъяснить, по какому принципу формируется группа механиков. Петр Павлович Аксенов начал говорить что-то о трудностях составления расписания. Манжос довольно резко оборвал его, и я счел за лучшее выйти из кабинета. Но и стоя в коридоре, хорошо слышал, как завкафедрой отчитал декана. Насколько я мог расслышать, Манжос не стал дожидаться ответа де-

кана и вышел. Проходя мимо меня, Федор Матвеевич бросил: «Вы будете учиться в группе механиков». Через пару дней моя фамилия была внесена в списки группы.

Наша группа механиков была чисто мужской и очень дружной. Тон в группе, да и на всем потоке, задавали незаурядно одаренные Фастовский, Кутуков, Найко, Семеренко. Они были активными участниками факультетской самодеятельности и редколлегии стенной газеты, неоднократно победителями институтских конкурсов. Многие студенты работали в НСО. Не случайно спустя несколько лет Л.Г. Кутуков, К.М. Вандерер, В.А. Косарев, Е.Н. Волков, А.И. Агапов, А.С. Коргушов и Г.А. Зотов защитили кандидатские диссертации по нашей специальности, а Агапов стал и доктором наук.

Темой моей студенческой научной работы под руководством В.В. Амалицкого было изучение стойкости сверл при обработке древесностружечных плит. Насколько помню, я был в тот год единственным подопечным у Амалицкого и он уделял мне достаточно много внимания. Он брал меня в поездки на немногочисленные тогда предприятия по производству плит. Мы отбирали для исследований образцы ДСтП, достаточно глубоко знакомились с технологией их производства. Я принимал посильное участие в монтаже экспериментальной установки, через короткое время мне было доверено самостоятельное проведение опытов по стойкости сверл. Совместно с руководителем мы составили план, по которому я написал и оформил отчет о научной работе. Отчет был напечатан на машинке и переплетен в типографии.

Надо признаться, что все мной написанное Виктор Васильевич, мягко говоря, существенно отредактировал, а практически написал заново. И, тем не менее, вся эта деятельность стала для меня отличной школой. Вторую свою студенческую работу я делал под руководством Н.В. Маковского, так как В.В. Амалицкий тогда был, если мне не изменяет память, на стажировке в Швеции.

Отчет по этой работе я уже написал действительно самостоятельно.

Также поучительным было участие в работе собственно научного кружка на кафедре. Не менее двух раз в год каждый из нас докладывал, отвечал на вопросы и участвовал в обсуждении результатов работы. Как и последующий доклад на конференции это дало незаменимый опыт публичных выступлений и диспутов.

На заседаниях кружка делали доклады и преподаватели. Насколько я могу судить, это была чисто кафедральная и очень удачная находка. Ф.М. Манжос сделал обстоятельное сообщение о шлифовании древесины, легшее позднее в основу главы его учебника. С.А. Воскресенский именно перед студентами впервые рассказал об учете сил инерции стружки, а А.Л. Бершадский – о новой методике расчета сил резания, которую он назвал общим законом резания.

Мне довелось почти два года быть старостой кружка. Функции мои были достаточно скромными: привлечение к работе новых студентов, составление повестки и обеспечение явки членов кружка на очередное заседание. Как правило, заседания проводились два раза в месяц. Если готовых докладов студентов не было, Ф.М. Манжос привлекал к докладам преподавателей и аспирантов. Следует признать, что с отъездом Федора Матвеевича в Киев работа кружка постепенно становилась все более формальной и практически угасла.

60 лет существования нашей кафедры – срок достаточно большой даже в историческом плане. Страна пережила за эти годы как минимум пять периодов – сталинизм, оттепель, застой, перестройка, зарождение капитализма. На всех этапах кафедра успешно, а в тот период, о котором я вспоминаю, на мой взгляд, блестяще выполняла свои функции. Убежден, что главная причина этого – те принципы методики преподавания и научной работы, подбора и воспитания сотрудников, которые заложили Федор Матвеевич Манжос и Сергей Александрович Воскресенский.



В этом году у меня появился правнук Георгий. Две мои дочери осчастливили меня двумя прелестными внуками. Я считаю нашу профессию мужской и вопрос о наследовании профессии ранее не возникал. Сегодня у меня есть заветная мечта, что через положенное число лет правнук станет студентом-механиком МГУЛ. К тому времени

неприменно изменится оснащение кафедры, помещения приобретут другой вид, придут новые преподаватели. Но мне очень хотелось бы надеяться, что будет восстановлен и сохранен дух кафедры, творческая атмосфера – самое ценное, что оставили нам наши учителя и что мы обязаны передать последующим поколениям.

### СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ (перепечатка из книги «Научно-педагогические школы МГУЛ (МЛТИ)»

В.И. ЛЮБЧЕНКО, *проф. каф. «Станки и инструменты» МГУЛ, почетный работник высшего профессионального образования России*

Можно полагать, что научные интересы кафедры станков и инструментов были достаточно ясны изначально, с момента ее образования в 1944 году. Кафедре суждено было разрабатывать теоретические основы технологии и техники механической обработки древесины, прежде всего резанием, поскольку этот метод в то время был наиболее распространенным. Этого прямо требовали от вузовской науки запросы плановой социалистической экономики, ее деревообрабатывающей отрасли; это отвечало целям и средствам организации на высоком уровне учебно-педагогического процесса в высшем лесотехническом образовании и, наконец, это соответствовало квалификации и научным интересам создателей кафедры.

Индустриализация страны в предвоенные годы привела к глубоким количественным и качественным изменениям в деревообработке: ушли в прошлое черты кустарных промыслов и преимущественно ручной труд, широкое распространение получили универсальные и специальные деревообрабатывающие станки; была создана материальная база отечественного станкостроения для деревообработки.

От науки потребовались необходимые сведения для расчета режимов обработки на станках, конструирования и эксплуа-

тации деревообрабатывающих машин и инструмента. Требования эти, в той или иной форме включенные в народнохозяйственные планы, приобретали силу директив.

В высших учебных заведениях научно-исследовательская деятельность по актуальным направлениям всегда рассматривалась как необходимое условие совершенной организации учебно-педагогического процесса. Это правило стало законом для кафедры станков и инструментов с первых лет ее существования.

Возглавивший кафедру 40-летний доцент Федор Матвеевич Манжос имел 15-летний опыт научно-исследовательской работы, широкие взгляды на проблемы деревообработки и глубокую заинтересованность в разработке идей точности и качества деревообрабатывающих станков.

Ровесник Ф.М. Манжоса, доцент Сергей Александрович Воскресенский, также опытный исследователь, закаленный в бескомпромиссных научных дискуссиях, к приходу на кафедру уже избрал делом своей жизни разработку универсальной аналитической теории резания древесины, способной вскрыть сущность процесса резания, привести накопленные знания в стройную систему и по максимуму удовлетворить потребности практики.

Богатый производственный опыт доцента Петра Тимофеевича Иванкова, занимавшегося проблемами технических измерений, особенно связанных с подготовкой к эксплуатации режущего инструмента, удачно соединяли научные интересы первых сотрудников кафедры.

Признавая научной школой направление в науке, связанное единством основных взглядов, общностью и преемственностью принципов и методов, можно с полным основанием утверждать, что на кафедре станков и инструментов с самого начала ее истории были заявлены и очень скоро утвердились два направления, впоследствии развившиеся в две научные школы: резание древесины и дереворежущий инструмент; точность механической обработки древесины и качество станков. Первую школу «вели» совместно С. А. Воскресенский и Ф. М. Манжос; вторую возглавил Ф. М. Манжос, так сказать, единолично.

Не погрешив против истины, надо сразу оговориться, что главное внимание первой школы было направлено на «резание», тогда как «инструменту» отводилось необходимое, то, что составляет практический выход из теории резания.

Такая научная специализация имела целесообразное основание: развитая школа по дереворежущему инструменту уже сложилась к тому времени в Ленинградской лесотехнической академии под руководством Александра Эдуардовича Грубе.

Корнями школа уходила к профессору И. А. Тимме, положившему начало научному анализу процесса резания древесины («Спротивление металлов и дерева резанию», Санкт-Петербург, 1870). Школа восприняла идеи теоретических работ профессора П.А. Афанасьева (1886) и профессора М.А. Дешевого (1934), оперлась на ранние экспериментальные исследования, выполненные в Германии (Гартиг, 1873), и на огромный массив новых экспериментальных результатов, полученных в 20-е и 30-е годы в научно-исследовательских организациях СССР, в частности, в Центральном научно-

исследовательском институте механической обработки древесины.

К сожалению, основатели школы не оставили собственных формулировок взглядов, принципов и методов, составляющих некий устав школы. Попытаемся это сделать, глядя на прошлое с позиций нашего времени.

Школа исходит из признания сложности технологического процесса резания, обусловленной слоисто– волокнистой структурой, различием и изменчивостью показателей свойств обрабатываемой древесины по структурным направлениям, а также сочетанием в самом процессе разнородных механических, электрических, тепловых и химических явлений. Однако, сложность процесса резания не исключает его познаваемости. Залогом познаваемости служат тенденции развития теории резания, предполагающие специализацию исследований при тесной увязке с решением общих задач (системно-целевой подход) и привлечение достижений смежных наук (механики твердого деформируемого тела, физики, химии, математики, древесиноведения и др.).

В разработке теории резания как относительно замкнутой и достаточно обширной системы знания, объясняющей и описывающей совокупность явлений процесса резания, приоритет отдается аналитическим методам исследований и теоретическому анализу. Этот тезис, кажущийся очевидным сейчас, когда преимущество «хорошей теории» над эмпирическим путем добывания новых знаний можно доказывать экономическим расчетом, долгие годы приходилось отстаивать в дискуссиях с оппонентами.

Целью теории резания в конечном счете является рационализация этого технологического процесса. Отсюда выстраиваются решаемые ею задачи: установление перечня и характеристик факторов резания, вскрытие физической сущности процесса, формулирование закономерностей процесса и их математическое описание, разработка инженерных методик расчета оценочных показателей резания (силовых, энергетиче-

ских, качественных, экономических), пригодных для целей оптимизации.

Кроме того, теория должна обосновывать методы и средства необходимых экспериментальных исследований технологических разновидностей процесса, указывать пути рационализации конструкций, повышения стойкости, рациональной эксплуатации инструмента, давать информацию для экономического сопоставления вариантов организации резания в станках.

Методом аналитической теории резания является моделирование, позволяющее устанавливать необходимые зависимости между исходными условиями и оценочными показателями резания.

Накопленные знания позволяют физику резания древесины вполне обоснованно представить совокупностью механических явлений, вынося таким образом прочие явления «за скобки», с указанием принимаемых допущений и оговорок. Тогда реальный процесс резания может быть замещен механической моделью.

Анализ механической модели и математическое описание связей между факторами процесса и составляют сущность механико-математического метода аналитической теории резания древесины, которого придерживается научная школа резания древесины в Московском государственном университете леса.

Выводы аналитической теории резания древесины неизбежно (по методологии) являются приближенными. Противоречие с практикой, требующей все более точных данных и совершенных расчетных методик, разрешается, прежде всего, совершенствованием теории. Но при этом признается важнейшая роль эксперимента как для уточнения практических рекомендаций производству, так для нужд развития самой теории.

Представление о достижениях научной школы дает приводимый ниже неполный перечень разработок, в котором обозначены исследованные проблемы. Исполнители разработок – научно-педагогические работники и аспиранты МЛТИ и других орга-

низаций (городов), удостоенные научной степени. Время завершения работ – по защите диссертаций или публикации результатов.

1. Теория простого (элементарного) резания:

С.А. Воскресенский (1955),  
Г.В. Кудрявин (ЦНИИМОД, 1969),  
А.С. Соловьев (1971),  
Г.А. Зотов (1972),  
Р.Ш. Бакиев (Казань, 1972),  
Е.Н. Волков (1980).

2. Теория процессов (сложного) резания:

2.1. Пиление:

С.А. Воскресенский (1959),  
Хоанг-Зыу-Нгуен (Вьетнам, 1968),  
Б.Б. Миндели (Тбилиси, 1969),  
В.Г. Фокин (ВНИИДМАШ, 1970),  
А.И. Агапов (1973),  
А.С. Коргушов (1973),  
В.Г. Суханов (1984).

2.2. Фрезерование:

Ф.М. Манжос (1949),  
В.Ф. Фонкин (1951),  
Н.А. Кряжев (1954),  
С.А. Воскресенский (1959),  
Ю.А. Цуканов (1963),  
Г.А. Комаров (1964),  
З.О. Онезашвили (Тбилиси, 1966),  
В.А. Тихонов (1967),  
Г.Ф. Дружков (1971),  
С.В. Иванов (1979),  
Т.Д. Квачадзе (Тбилиси, 1988).

2.3. Резание на стружку-полуфабрикат:

С.А. Воскресенский (1956),  
Н.П. Рушнов (ЦНИИМЭ, 1964),  
В.И. Любченко (1965),  
В.И. Силаев (1969),  
Б.М. Орлов (ВНИИДМАШ, 1971),  
Д.Ф. Бачурин (Хабаровск, 1974),  
Ю.А. Бова (Брянск, 1974),  
А.Ф. Абельсон (1978),  
П.С. Самородский (1981),  
А.А. Хатилович (Балабаново, 1982).

2.4. Точение:

А.А. Пижурин (1963),  
Н.И. Колотушкин (Брянск, 1986).

2.5. Сверление:

В.В. Амалицкий (1964),  
О.С. Шустыкевич (Львов, 1987).

2.6. Шлифование:

Ф.М. Манжос (1963),  
Ю.П. Попов (1965),  
М.Н.Гиндин (1966),  
Л.Г. Кутуков (1970),  
В.А. Косарев (1971).

2.7. Бесстружечное резание:

Ф.М. Манжос, С.А. Воскресенский,  
В.Г. Суханов (50–60-е годы),  
Ю.А. Цуканов, Н.И. Крюков (1976),  
Б.А. Брусин (1977),  
А.А. Росляков (Балабаново, 1991).

3. Совершенствование дереворежущего инструмента:

П.Т. Иванков (1963),  
Н.А. Кряжев (1963, 1979),  
В.И. Любченко (1965),  
Г.А.Зотов (80-е годы),  
О.И. Михашула (1982),  
Г.А. Тихомирова (1984),  
В.А. Киров (1984),  
И.М. Волков (1984),  
С.П. Разуваев (1987),  
В.В. Абразумов(1993).

По этим научным направлениям подготовлены учебники для вузов: С.А. Воскресенский «Резание древесины»; В.И. Любченко «Резание древесины и древесных материалов».

Книга С.А. Воскресенского переведена на английский язык в США и Канаде; идеи и принципы изложенной в ней теории получили развитие в трудах В.М. Маккензи (1960) и Н. Франца (1958).

Докторские диссертации защитили: Сергей Александрович Воскресенский. Вадим Федорович Фоикин, Андрей Абрамович Пижурин, Александр Иванович Агапов. Присвоено звание профессора Виталию Ивановичу Любченко. Научные степени и звания получили более 70 человек.

В настоящее время по этому направлению работают академик В.В. Амалицкий, профессор В.И. Любченко, доцент В.Г. Суханов и аспиранты кафедры.

Исходные взгляды и принципы научного направления второй школы – «Точность механической обработки древесины и качество станков» сводятся к следующему.

Проблемы технического прогресса в деревообработке, включая автоматизацию производств, не могут быть разрешены в должной мере без одновременного обеспечения высокого качества механической обработки (точности формы и размеров, требуемой шероховатости поверхностей).

Предметом исследований в обозначенном направлении являются: основные положения проблемы точности; закономерности размеро- и формообразования в процессе механической обработки; показатели точности обработки и точности станков; характер и закономерности влияния на точность обработки геометрических погрешностей станков, режущего инструмента, производственных факторов; методы расчетов и нормативы геометрической точности и жесткости дереворежущих станков; вопросы размерной настройки станков; испытания станков на точность.

Выделение точности механической обработки древесины в самостоятельную научную проблему было обусловлено специфическими свойствами древесины как материала, резко отличными от свойств металлов, обрабатываемых в машиностроении; особенностью технологических условий обработки древесины на станках (преимущественно проходным движением заготовок при подвижном базировании); нестабильностью режимов обработки, например, при ручной подаче; неоптимальной геометрической точностью и статической жесткостью элементов станков; отсутствием в конструкциях станков специальных устройств для точной размерной настройки; несовершенной техникой измерений и контроля точности.

Разработка научного направления в СССР началась в 1932 году исследованиями по проблеме механизации сборочных процессов в деревообработке (Ф.М. Манжос, С.А. Воскресенский, М.Н. Орлов и др.) и последовавшими вскоре работами С.А. Ильинского, В.Н. Михайлова, И.В. Куликова.

Направление творчески учитывает опыт машиностроения. Предпочтение отдается комбинированному исследованию точности: статистическому – в части случайных явлений – и расчетно-аналитическому – в отношении закономерных воздействий.

С приходом к руководству кафедрой в 1966 году Николая Васильевича Маковского научная школа расширила круг своих интересов: по-прежнему уделяя главное внимание вопросам точности и шероховатости обработанных поверхностей деталей из древесины и древесных материалов, она развивает исследования проблем эффективности деревообрабатывающих машин, включая их автоматизацию, стабильности обработки, технического уровня оборудования и методов его оценки.

По существу, Н.В. Маковским и его учениками впервые разрабатывается теория деревообрабатывающих машин, наработки которой сразу же становятся достоянием учебного процесса по профилирующим дисциплинам кафедры, а с 1975 года включаются в учебники.

Здесь уместно подчеркнуть огромный вклад Н.В. Маковского в совершенствование учебного процесса в лесотехнических вузах. Долгие годы возглавляя научно-методическую комиссию по машинам и механизмам для деревообработки Минвуза страны, лично интересуясь достижениями прикладной педагогики высшей школы, неустанно готовя и проводя многочисленные научно-педагогические конференции и семинары, он много сделал для внедрения в вузовскую практику из того, что давало соединение технической и педагогической мысли.

Достижения научной школы, выполненные исследования и исполнители (по проблемам, в хронологической последовательности):

– геометрическая точность и статическая жесткость дереворежущих станков: Ф.М. Манжос (1954, 1961, 1963), Е.Л. Цинновская (1955), В.П. Бухтияров (ВНИИД-МАШ, 1959), С.В. Зварыгина (1978), Н.В. Фонкина (1981);

– точность технологической системы станка: Г.А. Комаров, А.Ф. Борщев, Г.С. Чуков, Е.А. Новиков, В.Ю. Поляков, М.И. Пилипович (1975–1995);

– нормирование технологической точности: М.Н. Орлов, В.В. Силин (1966), В.Н. Рожин (1972), Б.В. Зимин (1974);

– оптимизация конструкции станков: В.Ф. Фонкин (1970), В.И. Коротков (1973), В.В. Кищенко (1974), А.С. Балин (1992);

– механизация и автоматизация настроечных перемещений: Н.В. Маковский (50–80-е годы), В.М. Кузнецов (1965, 1996), Л.Г. Молчанов (1970), О.А. Новиков (1995);

– динамика станков: И.Я. Нуллер (1972), М.А. Хачетлов (1988).

Школой подготовлены учебники для вузов по профилирующим дисциплинам:

– Ф.Ф. Манжос, «Деревообрабатывающие станки»;

– Ф.М. Манжос, «Дереворежущие станки»;

– Н.В. Маковский, В.В. Амалицкий, В.М. Кузнецов, Г.А. Комаров, «Теория и конструкция деревообрабатывающих машин»;

– В.В. Амалицкий, В.И. Санев, «Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий»;

– В.В. Амалицкий, Г.А. Комаров, «Монтаж и эксплуатация деревообрабатывающего оборудования»;

– Н.В. Маковский, «Проектирование деревообрабатывающих машин»;

– Н.В. Маковский, «Основы автоматизации деревообрабатывающего производства».

Защищены 3 докторские диссертации:

– Федор Матвеевич Манжос (1954),

– Николай Васильевич Маковский (1960),

– Виктор Моисеевич Кузнецов (1996).

Подготовлено более 40 кандидатов наук. Получены свыше 50 авторских свидетельств, медали ВДНХ и другие награды.

Школа «Надежность деревообрабатывающего оборудования». Появление в научных интересах кафедры станков и инст-

рументов нового направления – исследования по проблеме обеспечения надежности оборудования – явилось естественным откликом научно-педагогического коллектива на объективные потребности технического прогресса.

Усложнение деревообрабатывающих машин, многообразие и ответственность выполняемых ими функций означали переход значительной части оборудования отрасли в категорию «больших систем», эффективность работы которых определяется надежностью.

В середине 60-х годов универсальные понятия и идеи проблемы обеспечения надежности, сформулированные примерно десять лет тому назад, были востребованы и деревообрабатывающим машиностроением. (Надо напомнить, что именно к этому времени относится открытие на кафедре подготовки инженеров по машиностроительной специальности 0519 – «Машины и механизмы деревообрабатывающей промышленности», что означало серьезную перестройку и обогащение учебного процесса).

Новое направление, за развитие которого с энтузиазмом взялся молодой энергичный кандидат наук, доцент В.В. Амалицкий, опираясь на общие принципы теории надежности и наработки устоявшихся на кафедре научных школ, приступило к разработке отраслевой ветви надежности, учитывающей широкий спектр специфических условий работы деревообрабатывающего оборудования.

Предметом исследований научного направления являются: физические процессы, протекающие в деревообрабатывающей машине и приводящие к потере ею работоспособности, с учетом вероятностной природы явлений; разработка методов про-

граммных ускоренных испытаний, с применением диагностических процедур для анализа процессов, происходящих в станке; использование ЭВМ для обработки обширных массивов информации о состоянии станка.

За 30 лет (1965–1995) направление своими разработками создало авторитетную научную школу. По результатам исследований руководитель школы Виктор Васильевич Амалицкий защитил докторскую диссертацию, ему присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки РФ. Академия естественных наук РФ избрала его своим академиком. Школой подготовлено около 20 кандидатов наук:

А.М. Волобаев (1972),  
Ю.А. Сергачев (1974),  
В.Г. Бондарь (1975),  
В.И. Игнатов (1976),  
А.С. Воякин (1977),  
Н.В. Палеева (1983),  
В.Ю. Сергачев (1993),  
В.В. Рябов (1993) и др.

На трех заводах деревообрабатывающего машиностроения (города Ставрополь, Кострома, Днепропетровск) созданы центры испытания станков на надежность. Результаты исследований нашли отражение в трех (из поименованных выше) учебниках для вузов и одной монографии.

На современном этапе истории кафедры школа «Надежность» стала естественной и полноправной преемницей школы «Точность и качество станков».

Научные школы кафедры станков и инструментов развивают принципы, заложенные в основу научно-исследовательской деятельности ее основателями, следуют сложившимся традициям и закладывают новые.

**АННОТАЦИИ / SUMMARIES**

**Амалицкий В.В. СТРАТЕГИЧЕСКИЙ КУРС КАФЕДРЫ.**

На фоне 60-летней истории кафедры анализируется современное состояние учебно-научного процесса и обосновывается стратегия развития кафедры в новых экономических и социальных условиях.

**Amalitskiy V.V. THE STRATEGIC RATE OF FACULTY.**

On a background of a 60-years history of faculty the modern condition of study and scientific processes is analyzed and strategy of development of faculty in new economic and social conditions is proved.

**Любченко В.И. ОТЦЫ-ОСНОВАТЕЛИ КАФЕДРЫ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ.**

Очерк о жизни и творчестве основателей кафедры: Ф.М. Манжосе, С.А. Воскресенском, П.Т. Иванкове – богатых личностей и первоклассных специалистов.

**Lyubchenko V.I. FATHERS – FOUNDERS OF FACULTY OF MACHINE AND TOOLS.**

A sketch about a life and creativity of founders of faculty: F.M.Manzhos, S.A.Voskresenskiy, P.T.Ivankov - great persons and the first class experts.

**Кузнецов В.М. НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ МАКОВСКИЙ – ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ 60–70-х ГОДОВ.**

Краткий очерк жизни и работе доктора технических наук, профессора Н.В.Маковского, возглавлявшего кафедру в 1966-1980 г.г., в период ее активной многогранной деятельности.

**Kuznetsov V.M. NIKOLAY VASILIEVICH MAKOVSKIY – MANAGING FACULTY 60–70TH YEARS.**

A brief sketch of a life and work of Dr.Sci.Tech., professor N.V.Makovskogo heading faculty in 1966-1980 г.г., during its active many-sided activity.

**Амалицкий В. В. ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ НА УРОВНЕ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ.**

Рассматриваются новые организационные формы подготовки современных специалистов по технике и технологии деревообрабатывающих производств: создание при кафедре Учебного центра, использование Органа по сертификации оборудования и инструмента, прямого сотрудничества с ведущими зарубежными фирмами.

**Amalitskiy V. V. PREPARATION OF EXPERTS AT A LEVEL OF LAST ACHIEVEMENTS IN TECHNIQUES AND TECHNOLOGY WOODWORKING MANUFACTURES.**

New organizational forms of preparation of modern experts on techniques and technologies woodworking manufactures are considered: creation at faculty of the Educational center; use of the Center on certification of the equipment and the tool, direct cooperation with conducting foreign firms.

**Кузнецов В.М. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ СДВОЕННЫХ АГРЕГАТОВ ГИБКИХ ЛИНИЙ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.**

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Даны рекомендации по применению и выбору современных механизмов размерной настройки сдвоенных лесопильных агрегатов с программным управлением.

**Kuznetsov V.M. ELECTROHYDRAULIC MECHANISMS OF DIMENSIONAL ADJUSTMENT OF THE DUAL UNITS OF FLEXIBLE LINES SAWMILLS MANUFACTURES.**

Results theoretical and experimental researches are stated. Recommendations on application and a choice of modern mechanisms of dimensional adjustment dual sawmills units with program management are given.

**Кузнецов В.М. ЛУЩИЛЬНЫЙ СТАНОК С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.**

Описано техническое предложение на базовую модель луцильного станка нового поколения с электрогидравлическим механизмом подачи ножевого суппорта и программной настройкой на толщину шпона.

**Kuznetsov V.M. LATHING MACHINE WITH PROGRAM MANAGEMENT.**

The technical offer on base model lathing machine of new generation with the electro hydraulic feeder knife support and program adjustment for thickness veneer is described.

**Бондарь В.Г. СЕРТИФИКАЦИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА.**

Изложены история создания и итоги 10-летней работы Центра сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента при кафедре станков и инструментов МГУЛ.

**Bondar V.G. CERTIFICATION OF WOODWORKING EQUIPMENT AND TOOL.**

The history of creation and results of 10-years work of the Center of certification wood-working equipment and tool are stated at faculty of machine and tools MGUL.

**Корчатов А.В. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ В СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ.**

Изложены новые методологические разработки по определению показателей безопасности и качества оборудования.

**Korchatov A.V. METHOD OF DEFINITION OF PARAMETERS OF SAFETY AND QUALITY OF THE EQUIPMENT IN CERTIFIED TESTS.**

New methodological development by definition of parameters of safety and quality of the equipment are stated.

**Любченко В.И. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИКЛАДНОЙ КВАЛИМЕТРИИ.**

Рассмотрен опыт использования комплексного показателя качества продукции в исследованиях по оптимизации качества обработки древесины резанием. Ставится вопрос об использовании методов прикладной квалиметрии для целей оценки качества деревообрабатывающего инструмента.



**Lyubchenko V.I. ESTIMATION OF QUALITY OF PROCESSING OF WOOD AND AN OPPORTUNITY APPLIED CALIMETRY.**

Experience of use of a complex parameter of quality of production in researches on optimization of quality of processing of wood by cutting is considered. Brings an attention to the question on use of methods applied квалиметрии for the purposes of an estimation of quality дереворежущего the tool.

**Воякин А.С. ТАК ЗАРОЖДАЛАСЬ ШКОЛА НАДЕЖНОСТИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

Воспоминания о времени (70–80-х годах прошлого столетия), когда на кафедре станков и инструментов под руководством В.В.Амалицкого формировалась группа исследователей надежности деревообрабатывающего оборудования.

**Voyakin A.S. SO AROSE SCHOOL OF RELIABILITY THE WOODWORKING EQUIPMENT.**

Memoirs on time (70–80th years of the last century) when on faculty of machine and tools under V.V. Amalitskiy's management the group of researchers of reliability the woodworking equipment was formed.

**Суханов В.Г. ИЗ ИСТОРИИ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ.**

Изложены история и результаты исследовательских работ в МЛТИ (1950–1960-е годы) по реализации идеи безотходного вибрационного резания древесины.

**Sukhanov V.G. FROM A HISTORY OF VIBRATING CUTTING WOOD.**

The history and results of research works in MLTI (1950–1960th years) on realization of idea of without waste vibrating cutting wood are stated.

**Коротков В.И. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.**

Рассмотрена взаимосвязь состава формообразующих движений исполнительных органов и вида выполняемых на станке операций. Уравнения движений используются при разработке вычислительных программ моделирования технологических операций.

**Korotkov V.I. CLASSIFICATION OF FORM-BUILDING MOVEMENTS OF AGENCIES WOODWORKING MACHINES.**

The interrelation of structure of form-building movements of agencies and kind of operations carried out on the machine is considered. The equations of movements are used by development of computing programs of modelling of technological operations.

**Коротков В. И. УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ СТАНКА.**

Описаны принципы управления движениями исполнительных органов деревообрабатывающих станков на основе систем механического типа и цифрового управления. Рассмотрены способы управления взаимосвязанными формообразующими движениями и возможные законы изменения скорости исполнительных органов в станках с числовым программным управлением.