

УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ДИНАМИКИ, ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ МАШИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Проблема обеспечения надежности машин – актуальная задача современного машиностроения. Машиностроительное производство является отраслью, определяющей благосостояние многих индустриально развитых стран, в том числе и Республики Беларусь. Количество и качество машин определяют рентабельность машиностроения в целом. Важнейшей задачей современного отечественного машиностроения, решение которой позволит удержать традиционные и расширить новые рынки сбыта, является проблема обеспечения надежности создаваемых машин на всех стадиях: проектирования, подготовки и организации производства, промышленного производства, сервисного, в том числе – гарантийного, обслуживания и ремонта. Решение этих задач должно проводиться на основе систематических научных и инженерных знаний и представлений об условиях эксплуатации, в том числе – нагруженности, механических систем и элементов машин, о природе повреждения и разрушения их узлов и деталей, конструкторско-технологических методах обеспечения заданных эксплуатационных свойств и надежности. Другими словами, проблема надежности машин должна рассматриваться комплексно, начиная от идеи создания и проектирования, и на всех производственных циклах изготовления и эксплуатации. А это возможно только при наличии соответствующих инженерных специалистов, имеющих специальную вузовскую подготовку, способных согласованно решать частные и общие задачи проблемы обеспечения надежности машин на всех стадиях современного машиностроения.

Потребности промышленности в инженерах по надежности машин. Проблема повышения надежности создаваемых в Республике Беларусь и других странах ближнего и дальнего зарубежья машин вызывает профессиональную заинтересованность практически на всех предприятиях, занимающихся их проектированием, производством, техническим обслуживанием и эксплуатацией. Анализ предложений предприятий показывает, что решение столь сложных многофункциональных комплексных задач обеспечения надежности, имеет общие квалификационные, учебные, научные и производственные признаки, предъявляемые к инженерным кадрам соответствующих структурных подразделений. Отмечено, что до настоящего времени

во ВТУЗах Республики Беларусь отсутствует специальная подготовка инженерных кадров по надежности машин. Эти обстоятельства являются сдерживающим фактором для системного повышения надежности, качества и конкурентоспособности создаваемых машин, сдерживает расширение рынков сбыта продукции отечественного машиностроения.

Организационные и учебные возможности ВТУЗа (Технического университета); наличие кадрового потенциала, учебной и лабораторной базы. Для организации проведения подготовки инженерных кадров в области надежности машин на Машиностроительном факультете Белорусского национального технического университета имеются необходимая научно-методическая база, научные и инженерно-технические кадры и оборудование.

Начало подготовки наиболее целесообразно организовать на базе кафедры “Детали машин, ПТМ и М”, т.к. тематика и содержание изучаемых на ней учебных дисциплин наиболее близко соответствуют рассматриваемому направлению образования по сравнению с другими общетехническими и специальными кафедрами. Недостающие лабораторную и учебно-производственную мощности целесообразно заимствовать на заинтересованных в подготовке указанных специалистов предприятиях в рамках существующей договорной базы о сотрудничестве в области совместной учебно-научно-производственной деятельности, договоров о НИР. Для повышения эффективности многонаправленного взаимодействия всех заинтересованных структур является необходимым привлечение к работе их высококвалифицированных специалистов, включая ведущие машиностроительные предприятия, профильные НИИ НАН Беларуси, другие учебные заведения (ВТУЗы, Учебно-научно-производственные предприятия). На начальной стадии это позволит решить проблему научно-педагогических кадров по ряду новых, создаваемых впервые, учебных дисциплин. По направлению “Надежность и ресурсное проектирование машин” в БНТУ начата подготовка аспирантов. По данной тематике на кафедре готовится к защите диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук (соискатель: к.т.н., доцент Капуста П.П.; научные консультанты: доктора технических наук, профессора Скойбеда А.Т. и Почтенный Е.К.).

Научные основы нового направления подготовки кадров. На кафедре “Детали машин, ПТМ и М” (заведующий - Скойбеда А.Т.) и в НИЛ “Надежность и ресурсное проектирование машин” (заведующий - Капуста П.П.) БНТУ разработаны научные основы и методы конструкторско-технологического обеспечения надежности деталей на стадиях создания машин. Созданы теоретические основы надежности и ресурсного проектирования механических систем и элементов машин. Методология конструкторско-технологического обеспечения надежности деталей и машин включает следующие основные этапы: оценка уровня и нормирования надежности дета-

лей, разработка оценочных критериев и принципов их использования на стадиях создания и эксплуатации машин; влияние динамических и статических факторов на нагруженность и надежность; оценка режимов и их влияние на нагружение локальных элементов и на несущую способность в связи с развитием повреждений (трещин); разработка конструкторско-технологических методов, обеспечивающих требуемую надежность деталей машин; анализ взаимосвязи технологических процессов и конструкторско-технологических решений деталей для прогнозирования надежности машин на стадиях проектирования и выдача рекомендаций. Это обеспечит высокоточные (с заданной вероятностью неразрушения) прогнозные показатели надежности создаваемых в Республике Беларусь машин, что повысит их надежность и конкурентоспособность, уменьшит сроки создания и стоимость.

В большинстве случаев удовлетворительная прогнозирующая оценка надежности конструкций машин возможна только расчетно-экспериментальным путем соответствующего изучения натуральных объектов машин. Однако в последнее время рынок диктует производителям необходимость быстрого реагирования на запросы потребителя, создание и освоение производства новых машин с оптимальными массогабаритными характеристиками и требуемой надежностью. До настоящего времени отсутствовала общая методология и расчетные высокоточные методики прогнозирующей вероятностной оценки надежности деталей проектируемых машин, что обуславливает низкую точность прогнозирования ресурса и других показателей надежности, высокую длительность и стоимость проектного цикла создаваемых в республике машин и, как следствие, - систематическое отставание в конкурентоспособности на мировом рынке сбыта. Особой проблемой является комплексность учета конструкторско-технологических факторов в прогнозировании надежности деталей машин не только на стадиях проектирования, но и – производства и эксплуатации.

Состояние исследований в данной области в Республике Беларусь и за рубежом. Важным вопросом при проведении проектных вероятностных расчетов деталей машин на долговечность, в том числе и при определении опасных в смысле усталости элементов машин, является правильный вероятностный учет их прогнозируемой эксплуатационной нагруженности, конструкторско-технологических факторов. Исследованиями в данной области занимаются практически все индустриально развитые страны (США, Япония, Великобритания, ФРГ, Франция, Россия, Республика Беларусь, Италия и др.).

Анализ современного состояния проблемы позволяет сделать вывод о том, что случайный процесс нагружения в большинстве случаев учитывается в расчетах долговечности путем замены его ступенчатым блочным нагружением или аппроксимированным каким-либо распределением нагрузочным блоком. При этом отсутствуют результаты системных исследований по ком-

плексному влиянию на надежность конструктивных и технологических характеристик проектируемых деталей.

Для оценки напряженного состояния конструкций широко применяли численные методы расчета. Наибольшее количество работ посвящено использованию метода конечных элементов (МКЭ) и, в том числе, матричным методам численных расчетов. В указанных работах рассмотрены расчеты сложных рамных конструкций с использованием, как правило, их упрощенных с точки зрения конструкции и ее нагруженности расчетных моделей, не позволяющих точно оценивать их напряженное состояние. Использование результатов статических оценок нагруженности для дальнейшей оценки нерегулярного нагружения с высокой достоверностью представлялось достаточно проблематичным. Поэтому нагруженность чаще предпочитали определять экспериментально, например путем тензометрирования.

Состояние проблемы учета технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности. У большинства деталей усталостное разрушение начинается с поверхности, особенно тогда, когда наибольшие напряжения возникают в поверхностных слоях (изгиб, кручение, сложные напряженные состояния). Грубая механическая обработка, вызывающая пластические сдвиги, надрывы, микротрещины, прижоги в поверхностном слое, резко снижает предел выносливости детали, а тонкая (полирование, суперфиниширование и т.п.) - повышает. Это наиболее выражено у небольших деталей. Данное явление объясняется присущей крупным деталям неоднородностью структуры, действие которой пересиливает действие концентраторов, образовавшихся после механической обработки. Предел выносливости снижается при наличии случайных царапин, повреждений поверхностного слоя и износа поверхности. Особенности, связанные с обработкой поверхности, учитываются при расчетах на усталостную прочность посредством коэффициента качества (влияния шероховатости) поверхности. Влияние поверхностных повреждений возрастает с увеличением прочности материалов, что свидетельствует о повышенной чувствительности этих материалов к концентрации напряжений.

Повысить усталостный ресурс возможно путем упрочнения поверхности деталей. В промышленности уже давно и очень широко применяются методы поверхностного упрочнения деталей, работающих в условиях циклических напряжений (рессоры и полуоси автомашин, зубья шестерен, винтовые клапанные пружины и т.д.). К технологическим методам поверхностного упрочнения деталей машин относятся: наклеп поверхности путем обкатки роликами, обдувки дробью, алмазного выглаживания, чеканки и т. п.; поверхностная закалка с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ); химико-термические методы (цементация, азотирование, цианирование и др.); комбинированные методы (например, цементация с последующей обдувкой дробью и т.п.) и др. Эти методы значительно повышают несущую способность,

долговечность и надежность деталей машин. Поверхностная обработка создает двоякий эффект. Во-первых, повышается прочность поверхностного слоя, но сохраняется вязкость нижележащих слоев, а во-вторых, - в поверхностном слое создаются остаточные сжимающие напряжения, препятствующие образованию трещины. В результате обработки предел выносливости в оптимальных случаях может увеличиваться в несколько раз, а долговечность детали - в десятки раз. Поверхностная обработка наиболее эффективна для деталей, имеющих большую концентрацию напряжений. Влияние этих факторов учитывается посредством коэффициента влияния поверхностного упрочнения.

О создании компьютерных экспериментальных баз данных для учета технологий изготовления и упрочнения деталей на стадиях ресурсного проектирования машин. Применительно к изложенной выше системе методов прогнозирования ресурса разработаны специальный алгоритм, программное обеспечение и постоянно пополняющаяся компьютерная база экспериментальных данных для учета технологий изготовления и упрочнения деталей на стадиях ресурсного проектирования машин.

О некоторых задачах развития методологии учета технологий изготовления и упрочнения деталей на стадиях ресурсного проектирования машин. Практика расчетно-экспериментальной прогнозирующей вероятностной оценки ресурса выявила значительные сложности в правильном учете остаточных напряжений, связанных с технологией получения заготовок и деталей (литье, штамповка и т.д.) и проблемой управления напряженным состоянием (по остаточным напряжениям), а также – учета монтажных (сборочных) напряжений (например, для клепаных и сварных рам, рессор и других конструкций мобильных транспортных средств и других машин). Разработка соответствующих методик расширит применение большого количества разработанных и разрабатываемых технологий изготовления и упрочнения деталей на стадиях ресурсного проектирования машин заданной надежности.

Собственные исследования. Разработанные научные подходы в последнее время широко обсуждались и поддержаны на международных научно-технических конференциях, в специальной научной и научно-производственной печати, востребованы (используются и требуют своего развития) рядом крупных машиностроительных предприятий Республики Беларусь (ПО “БелавтоМАЗ”, МАЗ, МЗКТ, МАЗ-МАН, МЗОР и др.).

На протяжении последних более 20 лет заявитель и другие участники проекта активно занимались систематическими исследованиями нагруженности, сопротивления усталости и проблемой создания научных основ и принципов ресурсного проектирования несущих систем и элементов машин требуемой надежности. Разработанные методы оценки эксплуатационной нагруженности и прогнозирования ресурса на стадии проектирования деталей

машин используются при выполнении НИР кафедры “Детали машин, ПТМ и М” и НИЛ “Надежность и ресурсное проектирование машин”. Заявители проекта и научные руководители представляемых НИР: зав. кафедрой “Детали машин, ПТМ и М” Белорусского, д.т.н., профессор Скойбеда А.Т. и доцент кафедры “Детали машин, ПТМ и М” Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент Капуста П.П. Капуста П.П. на протяжении ряда последних лет являлся научным руководителем заданий по исследованию вопросов надежности и ресурсного проектирования машин в ГНТП “Белавтотракторостроение” на 1999 - 2000 г.г. и на 2003-2005 г.г., Республиканских научно-технических программ ориентированных фундаментальных исследований “Надежность и безопасность технических систем” и “Механика” на 2001 – 2005 г.г., Республиканской программы ориентированных прикладных исследований “Новые компоненты в машиностроении” на 2004 – 2005 г.г., Отдельного проекта ориентированных фундаментальных исследований, финансируемых Министерством образования Республики Беларусь на 2005 - 2006 г.г. и др.

По материалам исследований опубликовано более 140 научных работ, основные результаты обсуждены более, чем на 60 международных научно-технических конференциях и симпозиумах. Разработки внедрены на ряде машиностроительных предприятий Республики Беларусь.

На базе Машиностроительного факультета, кафедры “Детали машин, ПТМ и М” и НИЛ “Надежность и ресурсное проектирование машин” организована постоянно действующая Международная научно-техническая конференция “Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование, технология изготовления”, объединяющая усилия ученых, производственников и профессорско-преподавательский состав машиностроительного профиля в создании продукции машиностроения. Издается Межведомственный сборник научных трудов “Современные методы проектирования машин” под общей редакцией первого вице-президента НАН Беларуси, академика, доктора технических наук, профессора П.А. Витязя. В состав редакционной коллегии сборника входят свыше 20 ведущих академиков, профессоров и докторов технических наук, представляющих отечественную и зарубежную науку в области создания машин. Этот форум уже является своего рода научной школой, постоянно сверяющей правильность выбранного научного направления.

Наличие соответствующих теоретических моделей и методов расчетов надежности деталей машин обеспечивает возможность ее высокоточной проектной оценки, что позволяет разрабатывать новейшие методы ресурсного проектирования и производства конструкций с учетом конструкторско-технологических факторов и высокой степенью автоматизации всех уровней процесса создания машин, обоснованно значительно сократить длительность и стоимость проектного цикла создаваемых в республике машин и, как след-

стве, внесет вклад в обеспечение их конкурентоспособности на мировом рынке.

В последнее время проводится разработка научного подхода и расчетных инженерных методов оценки надежности деталей машин с учетом системного учета конструкторско-технологических факторов стадии проектирования, интегрирующихся с современными программно-аппаратными средствами САПР, все более широко применяемыми на предприятиях, занимающихся проектированием и производством машин.

В полученных результатах научной деятельности имеются новые научные знания и информация в виде методологии прогнозирования нагруженности деталей машин и их элементов на стадиях создания (проектирования и изготовления). Методология базируется как на известных результатах фундаментальных наук (теории механических колебаний и рассеяния энергии в механических системах, методологии решения системных задач, статистической теории подобия усталостного разрушения; кинетической теории механической усталости и разрушения металлов и сплавов; вероятностного подхода к оценке характеристик сопротивления усталости материалов и деталей, нагруженности механических систем и их деталей; современных теоретических достижений обрабатывающих и упрочняющих технологий, известных и предлагаемых методах управления надежностью деталей машин), так и на собственном теоретическом подходе, моделях и критериях системного анализа нагруженности и надежности.

Разработка в рассматриваемой постановке выполняется впервые в Республике Беларусь и странах СНГ, в том числе – России. Нет сведений о системном учете конструкторско-технологических факторов для оценки нагруженности, усталостного ресурса и в целом надежности создаваемых машиностроительных конструкций при нерегулярном нагружении в описании возможностей наиболее мощных, широко признанных и применяемых в мировой практике инженерных и научных расчетов таких программных пакетов, как Unigraphics, Euclid, Solid Works, Iges, Parasolid, PRT in Patran, ADAMS, PATRAN, NASTRAN, DYTRAN, FATIGUE, Pro INGINUER (США) и других, что ограничивает достоверность получаемых результатов и приводит к неадекватным прогнозным оценкам нагруженности и ресурса деталей и конструкций создаваемых машин.

Выполняемые на кафедре НИР позволяют ликвидировать существующий пробел в методологии и ее инженерных приложениях и обеспечить прогнозные показатели надежности с учетом конструкторско-технологических факторов для требуемой вероятности безотказной работы деталей на стадиях создания машин. Разработки позволят впервые статистическим расчетом прогнозировать зоны локализации случайных полей напряжений, места появления усталостных трещин с учетом конструкторско-технологических факторов, а на этой основе – предложить технологические

основы обеспечения надежности, проектирования и изготовления машин и их деталей. Это впервые обеспечит высокоточные (с заданной вероятностью неразрушения) прогнозные показатели нагруженности, ресурса и надежности в целом создаваемых машин.

Основные пути комплексного решения задачи по организации подготовки инженерных кадров в области надежности машин. В современных условиях образование, наука и промышленность (например, машиностроение) имеют достаточно высокий уровень, адекватно отвечающий требованиям развития производства и рынков сбыта продукции. В работе [2] изложены некоторые аспекты обоснования в своем роде новой формы организации комплексного (интегрированного) решения задач подготовки кадров и научно-технического обеспечения производства в рамках учебно-научно-производственного предприятия (УНПП). Даже самый общий анализ их становления и развития за последние несколько десятилетий показывает многообразие сменяющих исторически друг друга организационных форм их “сотрудничества”. Это – производственные, научно-производственные предприятия и объединения, отраслевые институты повышения квалификации. Их задачи – обеспечение соответствующих потребностей отраслевых Министерств и крупных производственных объединений. Традиционные источники пополнения новыми кадрами – ВУЗы, ССУЗы, ПТУ. В бывшем СССР успешно работали учебно-производственные объединения “Завод-ВТУз”. С целью повышения эффективности взаимодействия всех “институтов”, известен положительный опыт создания общественных (с отдельным финансированием) учебно-научно-производственных объединений (УНПО), например – организация в 1991 году Учебно-научно-производственного объединения “МАМТ-БГПА-МАЗ” [1]. Мотивационное обоснование его образования – повышение качества подготовки кадров для предприятия и отрасли, в т.ч. – улучшение успеваемости и материальной базы, техническое, учебно- и научно-методическое обеспечение создания востребованных развивающимся производством новых высоко сложных технических специальностей в Минском автомеханическом техникуме (МАМТ). Так, с 1997 по 1995 г.г. на базе специальности “Наладка и эксплуатация станков с программным управлением” (квалификация – техник-механик) было создано Отделение “Оборудование и обработка материалов”. В указанный период по согласованию с базовыми заводами МАЗ и МЗКТ, а также НПО “ПЛАНАР”, “ГРАНАТ” и другими предприятиями на отделении была организована подготовка кадров по следующим специальностям: Т 0301 “Технология, оборудование и автоматизация машиностроения” (квалификация – техник-механик) со специализациями - Т.0301.04 “Техническое обслуживание станков с программным управлением и робототехнических комплексов”, Т.0301.05 “Автоматизированное проектирование в машиностроении”, Т.0301.06 “Техническое обслуживание и ремонт оборудования предприятий машиностроения”; Т,1104

“Техническое обслуживание технологического оборудования и средств робототехники в автоматизированном производстве” со специализацией Т 1104 “Наладка и эксплуатация электронных систем программного управления в автоматизированном производстве” (квалификация – техник-электромеханик). На отделении также проводилась подготовка по ряду других традиционных специальностей. Взаимодействие в рамках УНПО “МАМТ-БГПА-МАЗ” с Белорусской государственной политехнической академией и с Республиканским институтом профессионального образования (РИПО) Министерства образования РБ и с указанными предприятиями Министерства промышленности РБ позволило успешно и быстро разработать учебно-методическое обеспечение (типовые и рабочие учебные планы и программы, в т.ч. – новых, учебных дисциплин, учебно-методические пособия). Совместная работа всех субъектов, участвующих в организации непрерывной подготовки кадров позволила впервые в Республике Беларусь организовать непрерывную подготовку инженерно-технических специалистов в системе ССУЗ-ВТУЗ-ПРОИЗВОДСТВО.

Интересен опыт решения задач систематической подготовки кадров (по новым специальностям, повышение квалификации) в Образовательном центре “Volkswagen-Bildungsinstitut” (автор прошел стажировку в 1993-94 г.г.) одного из крупнейших в мире производителей автомобилей – концерна “Фольксваген” (Германия). Не останавливаясь на источниках финансирования центра (оно является смешанным, как по ведомственной принадлежности, так и по формам собственности), отметим высокий уровень технического оснащения и учебно-методического обеспечения, адекватного современному уровню производства.

Отметим, что образовательная тенденция подготовки кадров в отечественных и зарубежных университетах – фундаментальность знаний, что не предусматривает создание мощной и быстро обновляющейся технической базы. Причинами этого являются, в т.ч. - экономические.

Проведенный научно-методический и технико-экономический анализ состояния проблемы показал, что на современном этапе развития организационных форм комплексного (интегрированного) решения задач подготовки кадров и научно-технического обеспечения производства могут стать учебно-научно-производственные объединения (УНПО) или предприятие (УНПП). А комплексное решение задачи по организации подготовки инженерных кадров в области надежности машин может быть эффективно реализовано с использованием объективных учебно-научно-производственных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Г.Я., Якимович А.М., Капуста П.П. О первом опыте организации в Республике Беларусь непрерывной подготовки инженерно-

технических кадров в системе учебно-научно-производственного объединения ССУЗ-ВУЗ-ПРОИЗ-ВОДСТВО// Материалы междунар. научно-практ. конф./ Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: УП “Технопринт”, 2004. – С. 330 – 335. 2. Капуста П.П. Учебно-научно-производственное предприятие – организационная форма для интегрированного решения задач подготовки кадров и научно-технического обеспечения производства// Материалы междунар. научно-практ. конф./ Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: УП “Технопринт”, 2004. – С. 344 – 346.