

Конструкторско-технологическая подготовка бакалавров в МГТУ им. Н.Э. Баумана

02, февраль 2015

Гудков В. В.^{1,*}, Третьяков А. Ф.¹

УДК: 378

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}victorgudckov@yandex.ru

Массовый переход на двухуровневую подготовку студентов (бакалавр, а затем магистр) в МГТУ им. Н.Э. Баумана произошел, с одной стороны, относительно недавно, а с другой стороны, уже в этом году будет осуществлен первый выпуск бакалавров, которые с первого дня обучались по соответствующим программам подготовки. Можно подводить некоторые итоги и обсуждать результаты.

Следует признать, что процесс перехода на двухуровневую подготовку студентов оказался непростым и сопровождался на первых этапах непониманием большинством преподавателей университета самой необходимости такого перехода и, как следствие этого, его неприятием. Причин такого отношения со стороны преподавателей к указанному процессу можно называть много, но, пожалуй, главной из них, по нашему мнению, следует считать само содержание действующих с 2000 года базовых, основополагающих документов, на которых и должен строиться учебный процесс в вузе – образовательных стандартов.

Рассмотрим для примера «Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление 552900 Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», утвержденный приказом Министерства образования РФ от 02.03.2000г. №686 [1]. Этим документом квалификация выпускника определялась как «бакалавр техники и технологии». При этом, по нашему мнению очень важно то, что в двух основных видах профессиональной деятельности выпускника – проектно-конструкторской и производственно-технологической - он должен быть подготовлен к решению большинства поставленных перед ним задач «...под руководством более квалифицированного специалиста...». Для тех, кто знаком с организационной структурой традиционных конструкторских и технологических отделов машиностроительных предприятий и организаций, хорошо известно, что «...под руководством более квалифицированного специалиста...» свою трудовую деятельность осуществляют выпускники соответствующих техникумов, а не вузов. Очевидно, что согласиться с такой перспективой для своих выпускников профессорско-преподавательский коллектив университета не мог. «Подливало масло в огонь» в отрицательном отношении к перспективе подготовки бакалавров и мнение большинства кадровых служб предприятий и организаций, которые традицион-

но сотрудничают с университетом и являются многолетними «потребителями» его выпускников: они справедливо указывали на то обстоятельство, что их штатным расписанием предусмотрены должности «инженер» и «техник», но нет должности «бакалавр».

Принятие в 2009 году Министерством образования и науки РФ новых образовательных стандартов и внесение в них дополнений Приказом от 18.05.2011 №1657 в дискуссии, имевшей место в преподавательской среде университета, на тему «что такое «бакалавр» в машиностроении?» фактически ставится точка. Так, например, «Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 150700 Машиностроение (квалификация(степень) бакалавр», утвержденный Приказом Министерства образования и науки РФ от 9.11.2009 № 538 [2] и «Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 151000 Технологические машины и оборудование (квалификация(степень) бакалавр», утвержденный Приказом Министерства образования и науки РФ от 9.11.2009 № 556 [3] говорят о том, что «по окончании обучения выпускнику, успешно прошедшему итоговую государственную аттестацию, наряду с квалификацией (степенью) "бакалавр" присваивается специальное звание «бакалавр-инженер»». В части стандартов [2,3], определяющей виды и содержание профессиональной деятельности выпускника, отсутствует какое-либо упоминание о его работе «...под руководством более квалифицированного специалиста...». Само содержание профессиональных задач, к решению которым в соответствии со стандартами должен быть подготовлен выпускник (включая такую задачу, как «организация работы малых коллективов исполнителей»), четко говорит о том, что это задачи для инженера.

Таким образом, бакалавр – это инженер. Но и по сей день значительное число преподавателей университета остаются в уверенности, что «настоящим инженером» следует считать лишь выпускников с квалификацией «специалист». Это, пожалуй, одна из главных причин, заставляющих многие профилирующие кафедры университета всеми «правдами и неправдами» держаться за «специалитет».

Попробуем проанализировать, в чем же состоит разница в подготовке бакалавров-инженеров и «настоящих инженеров - специалистов», кроме той, что первые учатся в университете четыре года, а вторые - пять лет и десять месяцев.

Этот анализ, по нашему мнению, следует проводить в рамках такого интегрального понятия, сформулированного и используемого методистами университета уже многие десятилетия, как «конструкторско-технологическая подготовка студентов». Обоснованность такого подхода определяется, в первую очередь, тем обстоятельством, что из двадцати шести профессиональных компетенций (ПК) выпускника, получающего звание «бакалавр - инженер» [2,3], минимум шестнадцать ПК (то есть более 60%) напрямую формируются как результат его конструкторско-технологической подготовки в вузе. Вторым важным обстоятельством, подтверждающим правильность именно такого подхода к нашему анализу, следует считать состояние рынка труда в центральных регионах России: огромное число производственных фирм, работающих в этих регионах - это небольшие организа-

ции, в которых работник с высшим техническим образованием зачастую выполняет одновременно функции и конструктора, и технолога, и организатора производства (то есть его профессиональная деятельность полностью соответствует той, которая предусматривается образовательными стандартами [2,3]). И, наконец, уже на государственном уровне сформулирована необходимость поддержки и развития «реального производства», создание территорий опережающего развития; при этом отмечается, что для реализации этих начинаний наиболее востребованными будут технологи [4].

Простое сравнение всего перечня дисциплин, изучаемых как студентами – «бакалаврами», так и студентами – «специалистами» на первых трех курсах (именно на этих курсах формируется база, основа конструкторско-технологической подготовки всего контингента студентов) показывает очень малую разницу между ними. Очевидно, что, в соответствии с требованиями образовательных стандартов, объем аудиторных занятий у студентов – «бакалавров», по целому ряду изучаемых дисциплин меньше, чем у студентов – «специалистов». Достигается такой результат на практике в большинстве случаев, благодаря простому переводу в программах подготовки студентов - бакалавров по этим дисциплинам ряда изучаемых тем из раздела «аудиторной работы студентов» в раздел «самостоятельная работа». Очевидно, что такой подход к формированию программ подготовки будущих бакалавров можно рассматривать лишь в качестве первой итерации в процессе их создания.

Итак, можно обосновано утверждать, что начальная, «базовая» часть конструкторско-технологической подготовки как студентов – «бакалавров», так и студентов – «специалистов» к окончанию ими 6 семестра обучения в целом совпадают. Но при этом курсовой проект по кафедре «Основы конструирования машин» (который следует, по нашему мнению, рассматривать в качестве итога, результата освоения «базовой» части конструкторско-технологической подготовки и который выполняется всеми студентами, о которых мы говорим на 6 семестре) для студентов – «специалистов» является лишь первым, но далеко не последним, а вот для студентов – «бакалавров» - первым и предпоследним (при условии, что программой их подготовки предусмотрен какой-либо курсовой проект на 7 семестре обучения).

Из сказанного выше следует, что применительно к конструкторско-технологической подготовке вторая ее часть или ступень, которая начинается с 7 семестра обучения, для студентов – «бакалавров» несравнимо меньше как по времени, так и по объему изучаемого материала, чем у студентов- «специалистов». Именно поэтому, по нашему мнению, в перечне дисциплин профессионального цикла основных образовательных программ в стандартах [2,3] отсутствует такая традиционная, классическая для подготовки инженеров дисциплина, как «Технология машиностроения», а включена дисциплина «Основы технологии машиностроения».

Очевидно, что рассчитывать на увеличение сроков обучения бакалавров не приходится, и поэтому, пожалуй, единственной возможностью «подтянуть» выпускника – бакалавра до инженерного уровня является глубокий, всесторонний анализ и на его основе кор-

рекция содержания и методики преподавания первой, «базовой» части конструкторско-технологической подготовки. Целью этой работы следует считать углубление этой подготовки, в том числе путем включения в нее целого ряда вопросов и тем, ранее в ней не рассматриваемых (о них будет сказано ниже).

Также очевидно, что эта коррекция может, а в ряде случаев должна, затронуть и дисциплины, включенные в гуманитарный, социальный, экономический, математический и естественнонаучный циклы в соответствии со стандартами [2,3]. Так, по нашему мнению, следует воспользоваться опытом одного из старейших технических университетов Германии – технического университета г. Аахен (федеральная земля Северный Рейн-Вестфалия), в котором дисциплина «Экономика» преподается уже на первом курсе. Это позволит, в частности, рассматривая тему «Выбор метода получения заготовки конструируемой детали» в курсе «Технология конструкционных материалов» [5], не ограничиться лишь формулировкой принципа, что «...изготавливать заготовку следует с минимальными производственными затратами.», а привести конкретные значения технологической себестоимости тех или иных заготовок.

Другим более общим, более важным обоснованием высказанного выше предложения может служить требования ГОСТ 14.201-83 [6], в соответствии с которыми процесс обработки конструкции изделий на технологичность должен включать в себя «...количественную оценку технологичности конструкции изделий». А ведь вопросы обеспечения технологичности конструкции заготовок и деталей проходят «красной нитью» через весь курс «Технология конструкционных материалов».

Помимо количественных оценок экономичности технологических процессов, изучаемых в курсе «Технология конструкционных материалов», актуальным и крайне необходимым для подготовки современного инженера следует считать рассмотрение и анализ этих технологических процессов с точки зрения их экологичности. Такое заключение следует из того обстоятельства, что «...правительство РФ уже приступило к созданию в 2015-2017 годах 47 справочников по наилучшим доступным технологиям (НДТ), которыми предприниматели будут пользоваться при планировании модернизации производства. Кроме того, правительством создается фонд развития промышленности, через который будут выделяться займы на реализацию инвестиционных проектов по льготным ставкам. «Наилучшие» означает достигающие высокого уровня защиты окружающей среды наиболее эффективным способом. «Доступные» - уже готовые, действующие на предприятиях и пригодные для конкретного производства. Под технологиями понимается широкий набор средств для повышения экологичности производства. Начиная от нового оборудования, завершая новыми материалами и методами управления – всем, что позволяет снижать отходы или совершенствовать методы их утилизации, объем вредных выбросов, повысить безопасность, снизить риски аварийности и многое другое» [7]. Отсюда с большой долей вероятности можно сделать предположение, что уже в ближайшие годы наши выпускники-бакалавры будут принимать участие в реализации соответствующих НДП.

Применительно к курсу «Технология конструкционных материалов» можно высказать еще одно предложение: максимально оперативно включать в изучаемый материал новые технологии. В качестве таковых следует указать на процессы «тиксотромообразования» - переработки металлов в двухфазном – твердожидком состоянии [8]. Большой интерес к этой технологии вызван открытием свойства тиксотропности в металлической суспензии с глобулярной микроструктурой: при этом существенно снижается сопротивление сдвиговым деформациям, в результате чего металл заполняет полости штампов сложной формы при незначительной удельной силе. С помощью тиксоштамповки получают заготовки сложной формы за один переход. Возможно формировать такие конструктивные элементы, как канавки, выточки и отверстия малых размеров, сопряжения толстых и тонких стенок, малые радиусы закругления и тому подобное. Эта технология применима для трудно деформируемых и композиционных материалов, при этом полученные заготовки нуждаются в минимальной последующей механической обработке. При использовании указанной технологии существенно сокращаются затраты на технологическую оснастку и требуемая мощность технологического оборудования.

Другим примером перспективных технологий являются так называемые «аддитивные технологии» (AF – Additive Manufacturing), или технологии послойного синтеза [9]. «...С их развитием связывают очередную промышленную революцию, поскольку они позволяют создавать сложные детали не литейным способом, а путем напыления или спекания порошка, существенно экономить на производстве сложных уникальных изделий и прототипов» [10].

В этой связи важным обстоятельством для нашего университета является, то что «...на базе ВИАМа формируется специальный центр материаловедения. В его задачи будет входить консолидация инновационного потенциала в области материалов для всей отечественной промышленности, в том числе авиастроения». А так как «...Производство порошков — ключевая проблема для отечественных аддитивных технологий, то ВИАМе сейчас заняты разработкой технологий изготовления порошков и металлопорошковых композиций, которые позволят, в том числе, избавиться от импортозависимости. Здесь уже наладили производство определенных видов материалов для 3D принтеров» [10] Возглавляет эти работы генеральный директор ВИАМ, академик РАН Е.Н. Каблов, который одновременно является заведующим кафедрой «Материаловедение» нашего университета.

Переходя к анализу конструкторской составляющей конструкторско-технологической подготовки студентов – «бакалавров», в первую очередь следует критически оценить нынешнюю ситуацию с дисциплиной, которая в стандартах [2.3] имеет название «Инженерная графика». В практике современных машиностроительных предприятий и организаций понятие «инженерная графика» является синонимом компьютерной графики, которая является наиболее производительным и эффективным инструментом и проектно-конструкторской, и производственно-технологической, и значительной части других видов деятельности, к которым должен быть подготовлен бакалавр-инженер в соответствии со стандартами [2.3].

В этой связи трудно объяснимым является много из того, чему в настоящее время фактически учатся студенты на кафедре «Инженерная графика» нашего университета - выполнять карандашом в рабочей тетради надписи чертежными шрифтами с наклоном в соответствии с ГОСТ 2.304-81; строить с помощью линейки и циркуля линии сопряжения определенного радиуса; строить вручную по точкам линии взаимного пересечения пространственных фигур типа сфера, призма, пирамида, конус и многое другое в том же «ручном варианте». Мнение преподавателей кафедры «Инженерная графика», что без всех этих работ у студентов не сформируется моторика, пространственное и проекционные представления и тому подобное, трудно считать обоснованным:

- моторика (видимо имеется в виду так называемая «мелкая моторика») формируется уже в детском возрасте и этому способствуют рисование, занятие музыкой, так называемые «умные игры» и т.п. [11]

- наиболее наглядное представление об изучаемом трехмерном объекте дает его модель, выполненная в 3D – графике, в том числе и пересечение этой модели какой-либо другой пространственной фигурой; эту модель можно легко рассечь в любом требуемом месте и таким образом на экране монитора увидеть, что собой представляет линия пересечения этих фигур.

Перечислять «странности» в содержании и методике обучения студентов на указанной кафедре можно долго, но главный вывод, который, по нашему мнению, напрашивается – обучение «в ручном режиме» является недопустимым как по затратам учебного времени, так и с точки зрения формирования у студентов уже с первого курса их обучения таких будущих профессиональных компетенций (ПК), как «...умение обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования...(ПК18); «способность принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-22)» [2].

Как уже отмечалось в начале этой статьи, курсовой проект по кафедре «Основы конструирования машин» можно обоснованно рассматривать в качестве своего рода итога, результата освоения студентами «базовой» части конструкторско-технологической подготовки. Но этот проект – вторая часть единой дисциплины, которая во многих образовательных программах в университете сохранила свое классическое название «Детали машин». Первая часть этой дисциплины абсолютно логично посвящена изучению «элементной базы» машин общепромышленного применения и методам расчета наиболее ответственных из них. Надо признать, что методические проблемы в первой части дисциплины «Детали машин» существуют, но значительная часть из них связана с тем обстоятельством, что к началу изучения этой дисциплины студентами не изучены такие дисциплины, как «Технология конструкционных материалов», «Метрология, стандартизация и сертификация» (названия дисциплин даны по стандартам [2,3]). Вследствие этого, студентам

трудно понять, что такое «соединения с натягом», что требуется для повышения «степени точности» зубчатых и червячных передач и многое другое из изучаемого материала.

Изучение и освоение студентами современных методов расчета основных элементов машин можно считать наиболее сильной стороной первой части дисциплины «Детали машин». А вот реализация в конструкциях, в «металле» изучаемых элементов машин во многих случаях оставляет желать лучшего. Для иллюстрации этого вывода можно в качестве примера рассмотреть ситуацию с изучением одного из популярных элементов приводов машин общепромышленного применения – червячных редукторов.

В учебнике «Детали машин» [12] отмечается, что к недостаткам червячных передач относятся «... повышенные требования к точности сборки, необходимость регулировки». Этому вопросу посвящена специальная лабораторная работа № 10 «Регулировка зацепления червячного редуктора...» [13], выполняемая студентами всех факультетов. Так как при работе передачи опоры червяка и червячного колеса испытывают значительные осевые нагрузки, то в червячных редукторах используются радиально-упорные подшипники (шариковые по ГОСТ 831-75 или роликовые конические по ГОСТ 27365-87), о которых в том же учебнике [12] сказано, что они «...регулируемые». В итоге в отчете по лабораторной работе №10 [13] студенты подробно описывают процедуру регулирования и подшипников, и зацепления червячной передачи. К вопросу о необходимости регулирования радиально-упорных подшипников студенты вновь возвращаются, в ходе выполнения лабораторной работы №14 «Изучение типовых узлов с подшипниками качения» [13], где подробно рассматриваются конструктивные приемы, используемые для регулирования подшипников, в том числе и подшипников червячных редукторов.

В следующем семестре, выполняя курсовой проект по кафедре «Основы конструирования машин», многие из студентов вновь сталкиваются с червячными редукторами, которые теперь им необходимо спроектировать, так как это является частью задания на проект. Важно, что основная методическая литература [14], рекомендованная и используемая студентами в ходе работы над проектом, содержит те же утверждения о необходимости регулирования подшипников и червячного зацепления и иллюстрирует, как эти требования реализуются в конструкциях редукторов. Таким образом, у студентов формируется представление, что «так и надо делать впредь, и по-другому быть не может».

В чем же причина такой ситуации и отражает ли она современное состояние дел в редукторостроении? Ответ на вторую половину поставленного вопроса - однозначно нет. Причиной же нынешней ситуации с изучением червячных редукторов является то, что в ее основу положены представления и конструкторские разработки еще советского времени, реализованные в редукторах серий «Ч» (Ч, 1Ч...5Ч) [15]. Справедливости ради следует отметить, что многие из них до сегодняшнего дня предлагаются к продаже на отечественном рынке. Даже поверхностное, по иллюстрациям в каталогах, сравнение конструкций редукторов серий «Ч» и их зарубежных аналогов (например, фирм INNOVARI (Италия) и INNORED (Китай) [16], являет собой разительный контраст: конструкция зарубежных редукторов вообще не предусматривает каких – либо регулировочных операций (очевид-

но, что это снижает трудоемкость изготовления данного изделия и обеспечивает его стабильное качества за счет исключения пресловутого «человеческого фактора»); в большинстве своем это не редукторы, а мотор – редукторы, что существенно снижает массу агрегата и приводов в целом (а ведь в соответствии с ГОСТ 14.201-83[6] «материалоемкость изделия» является одним из основных показателей технологичности изделия); в каталогах отмечается, что редукторы поставляются уже заправленными синтетическим маслом и не нуждаются в его замене в течении всего периода эксплуатации (до 15 лет) (таким образом еще более упрощается и конструкция редуктора, и его обслуживание).

Неправильно было бы считать, что указанные выше достоинства присущи только зарубежным червячным редукторам. Так Кременкульским редукторным заводом (Челябинская область) производятся и предлагаются к продаже червячные мотор-редукторы серии NMRV с межосевым расстоянием 25...150 мм и мощностью до 7,5 кВт [17], конструкции которых являются в значительной степени аналогами редукторов зарубежного производства.

Очевидно, что дальше не замечать описанных выше изменений в конструкции этих популярных элементов приводов машин общепромышленного применения при их изучении студентами было бы неправильно. Но это потребует не только замены лабораторных образцов, но и проведения целого ряда методических мероприятий, в том числе:

- уже на уровне терминов следует исключить такое понятие, как «регулирование» и говорить о нормах точности червячных передач в соответствии с ГОСТ 3675-81 [18] и регламентации осевых зазоров в радиально-упорных подшипниках.

- в соответствующих лабораторных работах следует изучать и анализировать размерные цепи «подшипниковые узлы – червяк» и «подшипниковые узлы – червячное колесо» и требования к точности линейных размеров отдельных элементов, составляющие указанные цепи (расчет указанных цепей должен присутствовать и в пояснительных записках курсовых проектов студентов, если задание на проект предусматривает проектирование червячного редуктора) и другое. Совершенно очевидно, что к этому моменту студенты должны уметь рассчитывать размерные цепи и знать возможности современного технологического оборудования, в первую очередь, по точности изготавливаемых изделий. Таким образом, этот пример является еще одним подтверждением взаимосвязи конструирования и технологии изготовления изделий.

Наличие этой взаимосвязи позволяет предложить еще один путь методического усиления конструкторско-технологической подготовки студентов - «бакалавров». Речь идет о создании своего рода «мостиков» между отдельными дисциплинами, обеспечивающими указанную подготовку. На первом этапе, по нашему мнению, это должна быть методическая литература, демонстрирующая на конкретных примерах взаимосвязь между рассматриваемыми дисциплинами и их взаимное проникновение. Первые примеры такой литературы уже есть [19]. Эта литература должна стать основой для разработки соответствующими кафедрами тем рефератов, домашних заданий, заданий на курсовые работы и проекты для студентов. То есть всего того, что относится к самостоятельной работе студен-

тов. Учитывая то, что от поколения к поколению в образовательных стандартах доля этого вида обучения усиливается, постановка такого вопроса является более, чем своевременной.

Список литературы

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление 552900 - Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Степень (квалификация) - бакалавр техники и технологии. (утв. Минобразованием РФ 27.03.2000. Номер государственной регистрации 256 тех/бак.).
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 150700 Машиностроение. Квалификация (степень) «бакалавр». (Утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. № 538. Зарегистрировано в Минюсте РФ 18 декабря 2009 г. № 15733. Введен в действие с 1 января 2010 г.).
3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 151000 Технологические машины и оборудование. Квалификация (степень) «бакалавр». (Утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. № 556 (ред. от 31.05.2011). Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.12.2009 г. № 15635).
4. Мирзаян Г. Кто вложится, с тем и дружим. Электронный ресурс Expert Online. Режим доступа: <http://expert.ru/2014/11/10/kto-vlozhitsya-s-tem-i-druzhim/> (дата обращения 23.02.2015).
5. Третьяков А.Ф. Технология конструкционных материалов. Курс лекций. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 327 с.
6. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. Введ. 01.01.1984 г. М.: Стандартинформ, 2009, 11 с.
7. Лабькин А. Российская промышленность входит в «зеленую зону». Электронный ресурс Expert Online. Режим доступа: <http://expert.ru/2014/11/12/rossijskaya-promyshlennost-vhodit-v-zelenuyu-zonu/> (дата обращения 23.02.2015).
8. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердотвердом состоянии. Новые промышленные технологии: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 223 с.
9. Казмирчук К., Довбыш В. Аддитивные технологии в российской промышленности. АФ-технологии – эффективное звено современного производства. Электронный ресурс konstruktor.net. Режим доступа: <http://konstruktor.net/podrobnее-det/items/additivnye-texnologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html> (дата обращения 23.02.2015).

10. Лабыкин А. От сеялок – к 3D-принтерам Электронный ресурс Expert Online. Режим доступа: <http://expert.ru/2015/02/9/ot-seyalok---k-3d-printeram/> (дата обращения 23.02.2015).
11. Ткаченко Т. А. Мелкая моторика. Гимнастика для пальчиков. М.: ЭКСМО, 2014, 48 с.
12. Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, М.Н. Захаров, С.А. Поляков и др. Детали машин / под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 465 с.
13. Методические указания к выполнению лабораторных работ по кафедре «Основы конструирования машин» / под ред. Л.А. Андриенко, М.Н. Захарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 180 с.
14. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. 12-е издание, стереотипное. М.: Издательский центр «Академия», 2009, 452 с.
15. Ряховский О.А. Атлас конструкции узлов и деталей машин / под редакцией О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, 380 с.
16. Электронный ресурс «Промситех». Режим доступа: <http://www.prst.ru/> (дата обращения 23.02.2015).
17. Электронный ресурс «Европривод. Кремлькульский редукторный завод». Режим доступа <http://www.evroprivod.ru/> (дата обращения 23.02.2015).
18. ГОСТ 3675-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Допуски. Введ. 01.01.1982 г. М.: Стандартиформ, 2009, 64 с.
19. Третьяков А.Ф., Тарасенко Л.В. Материаловедение и технологии обработки материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 544 с.