

Анализ технических заданий на курсовой проект «Основы конструирования машин» в МГТУ им. Н.Э. Баумана

05, май 2015

Гудков В. В.^{1,*}

УДК: 62-231

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}victorgudckov@yandex.ru

Введение

В статье «Инженерное образование XXI века» [1] была доказана необходимость перехода от традиционной лекционно-семинарской технологии обучения в Университете к контентному обучению, основной содержательный аспект которого сводится к проблемной ситуации - ситуации характеризующейся предметной и социальной неоднозначностью и противоречивостью. При этом подчеркивалось, что проблемная ситуация является базисным понятием проблемного обучения, которое в свою очередь вполне может быть реализовано и на лекциях, и в семинарских и практических занятиях, и во время проведения лабораторных работ, и в других привычных для преподавателей и студентов видах учебных занятий. Но, пожалуй, в наибольшей степени проблемно-ориентированному, то есть контентному, обучению соответствует работа студентов над курсовыми проектами, так как собственно процесс проектирования по определению [2] не является детерминированным и на каждом этапе требует решения тех или иных взаимосвязанных проблем.

Для студентов так называемых «машиностроительных» направлений подготовки нашего Университета традиционно первым курсовым проектом является проект по кафедре «Основы конструирования машин». Одно только это обстоятельство указывает на особое место данного проекта в процессе формирования профессиональных компетенций будущих выпускников. Однако в последнее время со стороны преподавателей ряда выпускающих кафедр высказываются замечания относительно содержания указанного проекта и предлагаются мероприятия, которые, по мнению их авторов, позволили бы приблизить результаты проектирования к «реалиям сегодняшнего дня». Подобного рода критические суждения требуют внимательного анализа, который и будет проделан в настоящей статье.

1. Анализ структуры технического задания на проект

В соответствии с ГОСТ 2.103-68 «Стадии разработки» работа студентов над курсовым проектом по кафедре «Основы конструирования машин» начинается с получения ими у консультанта-преподавателя кафедры технического задания на проект. Эти задания вызывают, пожалуй, наибольшее количество отмеченных выше замечаний, главное из которых – задания уже достаточно давно не менялись. Указывает ли данное обстоятельство на то, что эти задания на проект устарели?

Чтобы аргументировано ответить на этот вопрос нужно учитывать, что данный курсовой проект, выполняемый студентами в 6 семестре, базируется и является естественным продолжением дисциплины «Детали машин», изучаемой студентами в 5 семестре. В базовом учебнике [3] по данной дисциплине подчеркивается, что в ней рассматриваются общие вопросы конструирования машин, их деталей, узлов или сборочных единиц, причем машин «общемашиностроительного (а, вообще говоря, общепромышленного) применения». Структуру подобного рода машин укрупненно можно представить в виде расположенных друг за другом и связанных между собой трех механизмов: приводной механизм (двигатель) – передающий механизм (механизмы) – исполнительный механизм. Кинематические схемы, имеющие место во всех технических заданиях на рассматриваемый проект, строго соответствуют этой структуре, но с одной оговоркой: роль исполнительного механизма выполняет так называемый приводной вал, на котором размещены ведущие элементы (звездочки или барабан) грузонесущего элемента (собственно исполнительного элемента) соответственно цепного или ленточного конвейера, т.е. машины непрерывного действия общепромышленного применения.

Таким образом, технические задания на проект предусматривают разработку студентами конструкции не машины (конвейера), а его привода, что и указано в тексте задания. Это требование четко согласуется с теми знаниями и навыками, которые студенты приобретают в результате успешного изучения дисциплины «Детали машин». На основании отмеченного выше, может быть сделан вывод, что структура технических заданий на анализируемый нами проект соответствует структуре современных машин общепромышленного применения и может служить основанием для конструкторской разработки студентами их основных элементов.

От структуры технических заданий на проект в целом перейдем к анализу отдельных составляющих – механизмов тех приводов, которые должны быть спроектированы студентами в ходе работы над проектом.

2. Анализ механизмов, проектируемых в рамках выполнения курсового проекта

Так как задания предусматривают проектирование приводов стационарных машин, то в качестве приводного механизма во всех случаях предлагается использовать электродвигатель. То есть этот механизм не конструируется студентами, а лишь выбирается по

таким параметрам, как мощность и частота вращения ротора. Технические задания не содержат четких указаний, о каком типе электродвигателей в них идет речь. Но из материалов базового, основного уже в течение нескольких десятков лет учебного пособия по выполнению проекта [4] следует, что в качестве приводного механизма предлагается рассматривать трехфазные асинхронные электродвигатели. Действительно, данный тип электродвигателей отличает высокая надежность и ресурс, минимальные затраты на обслуживание. Все эти качества в сочетании с небольшой ценой и доступностью [5] привели к тому, что в настоящее время в подавляющем большинстве машин общепромышленного применения используется именно этот тип двигателей. Можно согласиться и с предлагаемой авторами [4] серией электродвигателей – серией АИР: вторая буква в обозначении данной серии «И» расшифровывается как «Интерэлектро». Это говорит о том, что двигатели этой серии соответствуют международным стандартам и поэтому взаимозаменяемы не только с двигателями, выпускаемыми в странах СНГ, но и с двигателями ведущих европейских фирм, продукция которых присутствует на рынке России [6]. Это обстоятельство может быть использовано нашими выпускниками в их будущей производственной деятельности.

Таким образом, в ходе работы над курсовым проектом приводной механизм студентами не конструируется, а лишь выбирается по таким параметрам, как мощность и частота вращения его вала [4]. Этот выбор осуществляется в самом начале работы над проектом, и к вопросу о приводном механизме студенты могут вернуться лишь в ходе подготовки к защите выполненного проекта.

Данная ситуация является «штатной», но в ней, есть существенный недостаток: она не учитывает тенденции развития электроприводов и их сегодняшние возможности. Так стало обычной практикой включение в системы управления асинхронными двигателями частотных преобразователей (инверторов) [7], которые позволяют: обеспечивать плавный пуск двигателя, до пяти раз снижая при этом пусковой ток; обеспечивать максимальный КПД двигателя при переменных режимах работы машины, благодаря чему экономия электроэнергии может достигать 50%; контролировать и регулировать частоту вращения двигателя в диапазоне 1:10.

Совершенствования коснулись не только систем управления асинхронными электродвигателями, но и самих двигателей. Так ряд предприятий нашей страны, например, ОАО Ярославский электромашиностроительный завод (ОАО «ELDIN»), серийно выпускают двигатели с электромагнитным тормозом [6], который позволяет: защитить машину от перегрузки; исключить самопроизвольное движение наклонно или вертикально расположенного грузонесущего элемента конвейера при аварийном отключении электропитания и другое.

Важно, что отмеченные выше возможности современных электроприводов напрямую влияют на параметры всех остальных элементов тех приводов, которые должны быть сконструированы студентами в ходе работы над проектом. Так стандартные методики расчета зубчатых и червячных передач (а эти передачи в совокупности имеют место во

всех технических заданиях на проект) предусматривают выполнение проверочных расчетов на прочность зубьев при действии пиковых нагрузок, которые характеризуются так называемым «коэффициентом перегрузки». Численные значения этого коэффициента предлагается определять «...по пусковому моменту электродвигателя, по предельному моменту при наличии предохранительных элементов...» [4]. Так как современный электропривод обеспечивает плавный пуск машины, плавное изменение нагрузок при переменных режимах работы машины, фактически мгновенную защиту машины от перегрузки, то надобность в выполнении указанных проверочных расчетов отпадает – значения коэффициента перегрузки в этом случае близки к единице. Кроме того, указанные возможности современного электропривода позволяют существенно снизить и численные значения коэффициентов безопасности (коэффициентов запаса), учитывающие динамические нагрузки при работе привода, в ходе расчетов студентами других механических передач, валов, подшипников и иных элементов. Все это в целом позволит сделать сконструированные студентами приводы более компактными и легкими, что соответствует требованиям, предъявляемым к современным машинам.

Безусловно «ядром», центральным элементом разрабатываемого студентами привода является его передающий механизм – редуктор соответствующего типа. Достаточно сказать, что графическая рабочая документация (сборочный чертеж и чертежи нескольких деталей) на редуктор составляют 2,5...3 листа формата А1, то есть как минимум половину всей графической части выполненных проектов. Та же ситуация имеет место в «пояснительной записке», которая является текстовым документом и неотъемлемой частью выполненных проектов.

Об особом месте редуктора во всем разрабатываемом студентами приводе говорит и тот факт, что, в отличие от приводного механизма (всегда электродвигателя) и исполнительного механизма (всегда приводного вала конвейера), тип и модификации типа редуктора меняются от задания к заданию, что делает каждое из них оригинальным.

Анализ показал, что подавляющее большинство редукторов, включенных в технические задания по проекту, на сегодняшний день выпускаются серийно отечественными или зарубежными предприятиями и представлены на рынке России (например, [6,8,9,10]). Это обстоятельство дает основание считать, что технические задания на проект в этой их части соответствуют современному уровню редукторостроения.

Пожалуй, единственный тип редуктора, не представленный сегодня на рынке – это так называемый «двухступенчатый двухпоточный соосный редуктор». Но это отнюдь не значит, что технические задания, в которых студентам предлагается разработать указанный тип редуктора, должны быть исключены: подобные редукторы относились к категории «специальных» и выпускались ранее. По этой причине в основных методических материалах по выполнению данного проекта [4,11] достаточно подробно рассматриваются особенности конструкции и расчета специфических элементов редукторов данного типа, и поэтому их разработка не вызывает особых затруднений у студентов.

Если типы редукторов, предлагаемых в заданиях на проект, не могут вызвать возражений, то конструктивное оформление большинства из разработанных и представленных в графической части выполненных студентами проектов редукторов вызывает сомнения с точки зрения их соответствия современным тенденциям в редукторостроении.

Одна из основных причин подобного положения, судя по всему, кроется в «зарегулированности» редукторостроения как отрасли. Начиная со второй половины XX века, соответствующими отраслевыми НИИ проводилась большая работа по стандартизации всех более или менее значимых параметров редукторов всех типов, выпускаемых в нашей стране. Так, например, в цилиндрических редукторах стандартными должны быть: значения межосевого расстояния (ГОСТ 2185 – 66); значения передаточных чисел для одно-, двух- и трехступенчатых редукторов и численные значения крутящего момента на их выходном валу (ГОСТ 25301 – 95); расстояния от оси выходного вала до опорной плоскости редуктора (ГОСТ 24386 – 80); форма и размеры концевых участков валов (ГОСТ 12080 – 66 и ГОСТ 12081 – 72), а также величины радиальных консольных нагрузок, приложенных к середине концевых участков валов (ГОСТ Р 50891 – 96) и еще целый ряд параметров и технических условий.

В контексте данной статьи важно, что все указанные выше ГОСТы не утратили свою силу до настоящего момента. Это же касается значительного числа ГОСТов, регламентирующих параметры редукторов других типов.

Стандарты, как известно, являются документами, обязательными к применению. По этой причине редукторы, разрабатываемые студентами в ходе их работы над проектом, являясь частью приводов машин общепромышленного применения – конвейеров, должны, строго говоря, отвечать требованиям всей совокупности соответствующих ГОСТов. На практике всем этим требованиям отвечают редукторы, серийно выпускаемые уже в течение нескольких десятков лет отечественными предприятиями (например, [6,8,9]).

Отсюда у студентов при работе над проектом возникает естественное желание взять за основу разрабатываемого ими редуктора конструкцию серийно выпускаемого редуктора того же типа. Этому желанию благоприятствует и то обстоятельство, что, в части содержащихся в них конструктивных решений, учебные пособия [4,11] в значительной степени ориентированы именно на серийно выпускаемые редукторы.

Результат очевиден: студенческие проекты разных лет, за редким исключением, содержат конструкции редукторов, практически не отличающиеся друг от друга. Следует еще раз подчеркнуть: их прототипами являются конструкции, разработанные несколько десятков лет назад. Очевидно, что данная ситуация не способствует формированию у студентов инновационного мышления, а, следовательно, требует изменения. Какие проблемы при этом возникают и возможные пути их решения проанализированы в статье [12] применительно к червячным редукторам.

В данной статье проведем сравнительный анализ конструкций, серийно выпускаемых отечественных и зарубежных зубчатых редукторов. Судить о конструктивных особенностях собственно зубчатых передач, валов, подшипниковых узлов и прочего содер-

жимого редукторов на основе информации, помещенной в каталогах, крайне сложно и поэтому анализируем конструкции только их базовых деталей – корпусов, т.к. конструктивно это самые сложные, самые массивные, а в функциональном плане, самые ответственные элементы всего изделия.

Вся гамма отечественный редукторов типа Ц (цилиндрический горизонтальный) и типа КЦ (коническо–цилиндрический) обладает общим конструктивным признаком: геометрические оси всех валов в них или промежуточных и тихоходного валов (тип КЦ) лежат в одной горизонтальной плоскости, которая является одновременно плоскостью разъема корпуса редуктора (например, [9]). Это позволяет сделать процесс сборки редукторов максимально простым и производительным: заранее собранные узлы (зубчатое колесо – вал – подшипники) последовательно укладываются в гнезда подшипников, после чего обе части корпуса скрепляются между собой болтами или винтами. Кроме того, как отмечается в каталогах, такая конструкция корпуса облегчает ремонт редукторов в производственных условиях. Следует отметить, что разъемная конструкция корпуса позволяет упростить процесс сборки редуктора и за счет широкого использования закладных крышек [4].

Отмеченные выше достоинства разъемной конструкции корпусов редукторов, однако, не могут компенсировать ее очевидных недостатков. Так на обеих частях корпуса по всему периметру плоскости разъема приходится выполнять специальные элементы жесткости – фланцы. Кроме того, для размещения болтов или винтов, предназначенных для скрепления частей корпуса между собой, необходимо предусматривать специальные бобышки, ширина которых может достигать нескольких десятков миллиметров. Все это приводит к существенному увеличению массы и габаритов редукторов. Дополнительных затрат требует и необходимость фиксирования частей корпуса между собой с помощью штифтов.

Использование в конструкциях редукторов закладных крышек, при всех их достоинствах, приводит к возникновению целого ряда проблем. Отметим наиболее важные из них: исключается какое-либо иное пространственное положение плоскости разъема корпуса редуктора, кроме горизонтального, так как в этом случае масло, заливаемое в полость корпуса, может вытекать через зазоры между крышками и корпусом; процедура замены уплотнительных устройств (ресурс которых в подавляющем большинстве случаев меньше ресурса редуктора в целом) требует полной разборки редуктора.

Одно из основных требований, предъявляемых сегодня к производству машиностроительной продукции – максимальная экономия материальных, энергетических и других ресурсов. Если руководствоваться указанным требованием, то неразъемная конструкция корпусов зубчатых редукторов является предпочтительной.

Эта концепция реализована, например, в цилиндрических и коническо-цилиндрических редукторах серии 700 фирмы STM Team (Италия) [8]. Редукторы этой серии имеют количество ступеней от 1 до 4, что обеспечивает: - передаточные числа в диапазоне 3,3...334,9; вращающий момент на тихоходном валу 200 Нм...1500 Нм; выход-

ную мощность 0,31 кВт...43,1 кВт. Значения всех указанных параметров соответствуют тем, что имеют место в рассматриваемых нами технических заданиях на проект.

На рисунке 1 показан цилиндрический мотор - редуктор типа RXP 700.

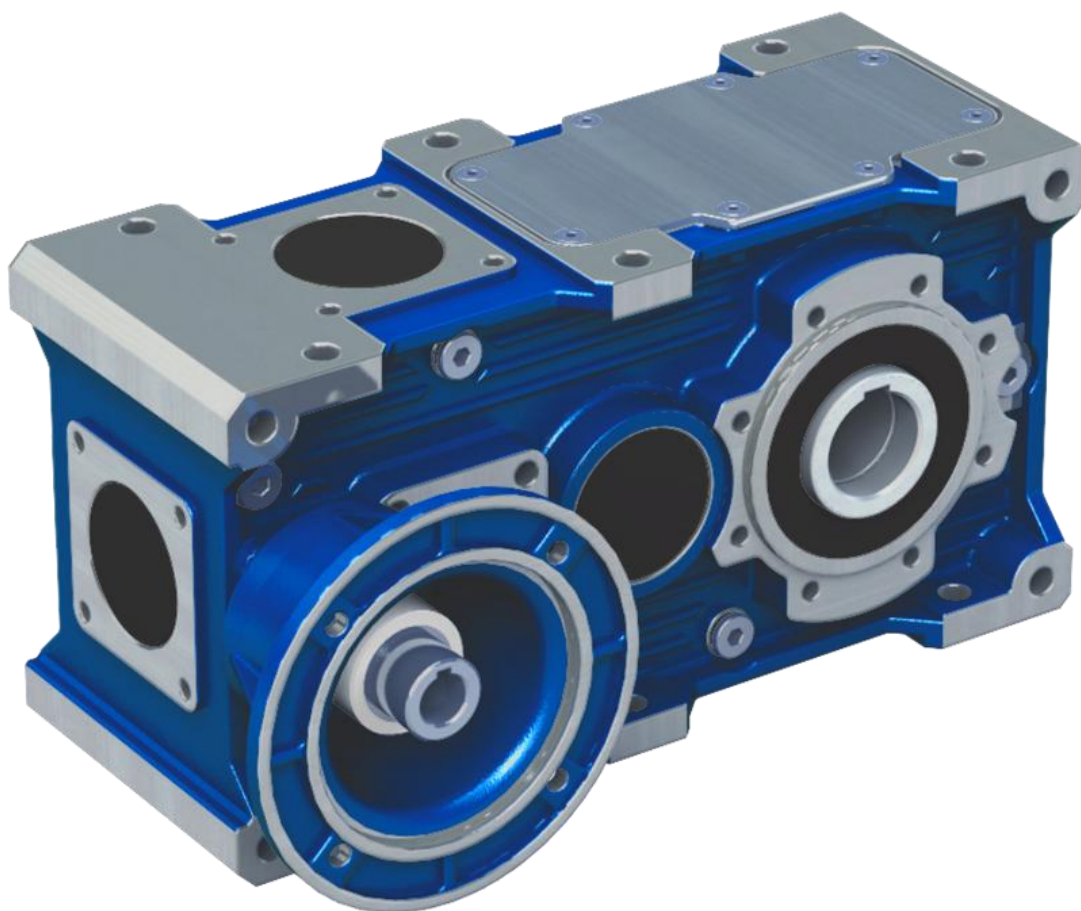


Рис.1 Мотор-редуктор серии RXP 700 четырехступенчатый

Хорошо видно, что корпус редуктора неразъемный, причем каждая из его сторон может использоваться как опорно-присоединительная. Это позволяет редуктору занимать практически любое пространственное положение в приводах, что и отмечается в каталоге.

Универсальность данной конструкции корпуса увеличивается благодаря возможности его применения при наличии у редуктора как четырех ступеней, так и трех ступеней (в этом случае быстроходный вал занимает место первого промежуточного). Следует обратить внимание на наличие на верхней и торцовой поверхностях корпуса отверстий большого диаметра (закрыты черными пластмассовыми заглушками) и резьбовых отверстий вокруг них: это места для установки на корпусе узла быстроходной конической шестерни.

В этом случае редуктор из цилиндрического трансформируется в коническо-цилиндрический (рис. 2, 3).



Рис.2 Мотор-редуктор серии RXV 700 коническо-цилиндрический двухступенчатый

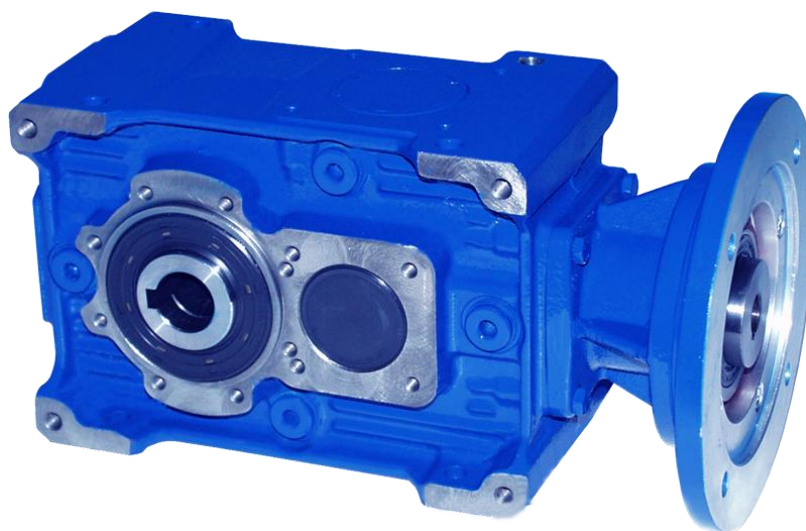


Рис.3 Мотор-редуктор серии RXO 700 коническо-цилиндрический двухступенчатый

Такими возможностями не обладает корпус ни одного из отечественных редукторов типов Ц и КЦ.

Вывод очевиден: студентов при работе над их курсовым проектом необходимо ориентировать на обеспечение максимальной универсальности при одновременно минимальной массе разрабатываемых ими зубчатых редукторов. Помочь этому должны соответст-

вующие методические материалы, которые должны быть разработаны преподавателями кафедры.

Последний из разрабатываемых студентами элементов привода – приводной вал, в методическом отношении является наиболее «обеспеченным». Так учебное пособие [4] позволяет студентам четко определиться с типом и схемой установки подшипников, применяемых в качестве опор для приводных валов; на этом основании определяются типоразмеры стандартных корпусов подшипников (ГОСТ 13218.1 – 80, ГОСТ 13218.11 – 80) и крышек для них (ГОСТ 18511 – 73, ГОСТ 18514 – 73). Атлас [11] содержит различные варианты выполнения ведущих элементов (звездочки или барабан) с использованием технологических процессов литья, штамповки и сварки. Все это позволяет студентам технически грамотно и обосновано (с учетом масштаба производства) осуществить конструкторскую проработку этого исполнительного механизма.

Помимо трех основных механизмов – приводного, передающего и исполнительного –, технические задания на проект предусматривают включение в состав разрабатываемых студентами приводов специальных устройств – муфт, обеспечивающих соединение этих механизмов между собой.

Следует подчеркнуть, что возможности электроприводов, отмеченные выше, и современные конструкции редукторов (рис.1, 2, 3) позволяют выполнять приводы машин общепромышленного применения без использования в них каких – либо муфт. Но если рассматривать продукцию машиностроения в целом, то следует признать, что муфты различного типа встречаются в ней достаточно часто. Это дает основание считать, что полное исключение муфт из разработки в ходе выполнения студентами проекта было бы неверным. Важно, чтобы эта работа не превращалась в простое копирование ранее спроектированных муфт.

Заключение

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

- необходимости в корректировке структуры технических заданий на проект не существует;
- в тексте технических заданий на проект необходимо указывать не только тип приводного механизма – электродвигатель, но и основные возможности электропривода в целом;
- при разработке конструкции передающего механизма предпочтение должно отдаваться мотор-редукторам с неразъемными корпусами;
- целый ряд типов муфт (например, пусковые, глухие и предохранительные) следует исключить из разработки в ходе выполнения курсового проекта, так как их функции способен выполнить электропривод.

Высказанные предложения могут показаться кому-либо спорными, но их реализация, однако, позволит сделать студенческие проекты более современными, что, безусловно, является одной из важных задач совершенствования системы подготовки будущих инженеров.

Список литературы

1. Гудков В.В., Назарова И.Р. Инженерное образование XXI века // Инженерный вестник: Электронный научно-технический журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 6. С. 1001-1008. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/712769.html> (дата обращения: 03.05.2015).
2. Проектирование. / Философская энциклопедия. // Электронный ресурс «Академик». Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/8937/ПРОЕКТИРОВАНИЕ (дата обращения: 03.05.2015).
3. Андриенко Л.А., Байков Б.А., Захаров М.Н., Поляков С.А. и др. Детали машин.: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 465 с.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 12-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия». 2009. 452 с.
5. МПО Электромонтаж. // Электронный каталог электродвигателей. Режим доступа: <http://www.electro-mpo.ru/catalog-crazdel30.html> (дата обращения: 03.05.2015).
6. Интернет-магазин ЭЛРЕ. // Электродвигатели и редукторы. Режим доступа: <http://www.электродвигатели-редукторы.рф/> (дата обращения: 03.05.2015).
7. Частотный преобразователь для электродвигателя. // Школа для электрика. Режим доступа: <http://electricalschool.info/2011/11/13/chastotnyjj-preobrazovatel-dlja.html> (дата обращения: 03.05.2015).
8. Торгово-технический альянс «АРС». Режим доступа: <http://www.ttaars.ru/> (дата обращения: 03.05.2015).
9. ООО «Челябинский завод «Редуктор». // Сайт Челябинского завода [Редуктор](http://74red.ru/). Режим доступа: <http://74red.ru/> (дата обращения: 03.05.2015).
10. ЗАО «НТЦ Редуктор». // Сайт Научно-технологического центра Редуктор. СПб. Режим доступа: <http://www.reduktorntc.ru/> (дата обращения: 03.05.2015).
11. Байков Б.А., Клыпин А.В., Леликов О.П., Ганулич И.К., Зворыкин В.И., Варламова Л.П., Соболева Л.П., Андриенко Л.А., Попов П.К., Финогенов В.А., Фомин М.В., Зябликов В.М., Тибанов В.П., Смелянская Л.И., Язева Е.А., Богачев В.Н., Соколов П.А., Блинов Д.С., Варламов В.П., Верещака В.А., Гудков В.В., Богачев В.Е. Атлас конструкции узлов и деталей машин. 2-е издание. / Под редакцией О.А. Ряховского, О.П. Леликова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 400 с.
12. Гудков В.В., Третьяков А.Ф. Конструкторско-технологическая подготовка бакалавров в МГТУ им. Н.Э. Баумана // Инженерный вестник: Электронный научно-технический журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 2. С. 1001–1010. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/758716.html> (дата обращения: 03.05.2015).