

УДК 621.45 (031)

В.Г. НЕСТЕРЕНКО, Н.Н. СИРОТИН, А.Б. АГУЛЬНИК, Ю.А. РАВИКОВИЧ

*Московский авиационный институт**(национальный исследовательский университет), Россия***КОМПЛЕКСНАЯ ПОДГОТОВКА УЧАЩИХСЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»**

*Рассматривается содержание учебного плана профессионального цикла специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки», необходимые для изучения процесса проектирования конструкций интегрированной силовой установки (СУ), включающей авиационный двигатель и энергетическую установку (АД и ЭУ), входной канал, мотогондолу, реверс тяги (при его наличии), агрегаты и блоки «обвязки» двигателя и их соединения с системами летательного аппарата (ЛА). Показана необходимость расширенной подготовки студентов, отражающей новые задачи, стоящие перед отечественной авиационной промышленностью по импортозамещению зарубежной техники отечественными производителями АД и ЛА, повышению их ресурса и надёжности, снижению стоимостных жизненного цикла и т.д. Эти задачи должны найти отражение в содержании учебных программ дисциплин профессионального цикла, включаемых в учебные планы ФГОС ВПО третьего поколения по направлению подготовки 160700 «Двигатели летательных аппаратов» - квалификация (степень) «бакалавр» и «магистр», с целью повышения качества обучения проектно-конструкторской профессиональной деятельности.*

**Ключевые слова:** силовая установка (СУ), воздухозаборник, мотогондола, реверс, компрессор, вентилятор, турбина, сопло, сухая масса.

**Введение**

В МАИ на факультете №2 осуществлён переход от одноуровневой образовательной подготовки студентов, по специальности 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки (АД и ЭУ), к двухуровневой системе образования. Учащиеся, после четырёх лет обучения, получают степень (квалификацию) бакалавр – инженер [1]. Далее, при наличии желания и такой возможности, они могут продолжить своё обучение по избранной специальности и после двух лет дополнительного обучения получить степень (квалификацию) магистра [2]. Параллельно с этим, в МАИ сохранена подготовка специалистов, с непрерывным 5,5 летним сроком обучения. Не вызывает сомнений то, что в настоящее время требуется более расширенная образовательная подготовка инженера, наличие у него знаний и умений разбираться в том числе и в экономических, а также эксплуатационных требованиях к проекту, умение решать проектные задачи с учётом ряда новых критериев, например, тех, которые определяют стоимость жизненного цикла (СЖЦ) АД и ЭУ. Проектировщик узлов нового двигателя должен учитывать: возможность его модернизации и повышения технических параметров в дальнейшем; создания не одного изделия, а целого семейства двигателей разного вида и назначения на основе базовых узлов и блоков исходного варианта; конкурентной способности проектируемых СУ на мировых рынках и др.

Особенно необходимо сформировать у студентов понимание требований по законченности исследований и проектов, доведения их до этапов внедрения в реальные объекты. Требуется воспитывать большую самостоятельность студентов при выполнении домашних заданий и практических работ, формировать творческие способности, логического и комбинационного мышления. Курсовые задания и проекты должны содержать как обязательные части, способствующие усвоению и закреплению пройденного теоретического материала, так и специальные разделы, индивидуальные для каждого студента, в которых он мог бы проявить самостоятельность и показать свои творческие способности. Учебные и методические пособия, должны содержать примеры практического использования теоретических положений при проектировании, как это сделано в учебнике широко известного иностранного автора, Jack D. Mattingley [3], в котором параллельно с изложением теоретического материала и расчётных методик содержатся примеры их применения при проектных расчётах всех основных узлов различных современных авиационных двигателей США, отличающихся размерностью, параметрами и условиями эксплуатации, включая ТРД, ТРДД, ТРДДф, ТВД и ТВДд гражданского и военного назначения. Используемые автором методики представлены также в Интернете в автоматизированном виде, благодаря чему студенты в диалоговом режиме могут сопоставлять получаемые ими результаты проектирова-

ния с реальными конструкциями, в которых выбираемые параметры чаще всего находились после многочисленных расчётов и носят компромиссный характер, учитывающий множество разнородных и противоречивых факторов. Например, требование высокого КПД обязывает снизить степень аэродинамической нагруженности ступени компрессора или турбины. Однако требование минимизации массы СУ наоборот, обязывает сокращать число этих ступеней и увеличивать степень нагруженности каждой из них. Другой пример, современные центробежные ступени компрессора могут иметь исключительно высокую степень повышения давления воздуха, доходящую до значений 8...12. При этом существенно сокращается число деталей в СУ. Однако центробежная ступень имеет значительно большие диаметральные размеры, способствующие увеличению лобового сопротивления СУ.

## **1. Требования двухуровневой системы высшего образования**

### **1.1. Подготовка бакалавров**

Рассмотрим содержание государственных стандартов третьего поколения по направлению подготовки студентов 160700 «Двигатели летательных аппаратов», где выпускной квалификацией является бакалавр. Бакалавры подготавливаются к следующим видам профессиональной деятельности: проектно-конструкторской; производственно-технологической; организационно-управленческой. Остановимся на требованиях к квалификации бакалавра - инженера, подготовленного для выполнения проектно-конструкторской деятельности. Их много, но главное требование – бакалавр должен уметь разрабатывать проекты двигателей и энергоустановок ЛА с учетом физико-механических, технологических, экологических и экономических параметров; разрабатывать проекты технических условий и технических описаний. Написано коротко и ясно: «Должен уметь!?». Производственно-технологическая деятельность требует других, менее ответственных «умений»: разработка маршрутных карт технологических процессов изготовления двигателей и энергоустановок летательных аппаратов; участие во взаимодействии конструкторских, технологических и испытательных подразделений и т.д. В свою очередь, организационно-управленческая деятельность, требует следующих умений: нахождения компромисса между различными требованиями (стоимости, качества, безопасности и сроков исполнения) как при долгосрочном, так и при краткосрочном планировании и определения оптимальных решений; участия во внутриотраслевой кооперации и др. Особенно интересно требование «... выполнения международных обязательств по контролю за нераспространением ракетно-ядерного оружия». Такие документы могут появляться только в том случае, если их

составляют люди, не имеющие никакого отношения к реальной жизни и преподавательской деятельности. Безусловно, что бакалавр не должен быть «узким» специалистом, а иметь образование, позволяющее ему в процессе практической деятельности принимать участие в различных видах профессиональной деятельности. К примеру, авиационно-космический факультет политехнический университета г. Нью-Йорка не готовит бакалавров, а принимает уже подготовленных на других факультетах или университетах бакалавров для обучения по квалификации магистра. Это вполне объяснимо, производственные обязанности бакалавра носят вспомогательный характер. Если сопоставить программу обучения бакалавров по направлению подготовки студентов 160700, составленную в МАИ по профилю «Авиационные силовые установки», и другую программу обучения инженера по специальности 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки» за один и тот же период в четыре года, то выясняется следующее. Имеется существенная разница в уровне подготовки и перечне изучаемых дисциплин профессионального цикла сравниваемых вариантов обучения. В программу подготовки бакалавра профиля «Авиационные силовые установки» не вошли следующие дисциплины: «Теоретические основы математического моделирования конструкций методами конечных элементов», «Основы трёхмерного моделирования конструкций АД и ЭУ», «Проектирование конструкций узлов, блоков и модулей ВРД», «Основы доводки и модифицирования конструкций АД и ЭУ», «Надёжность, ресурс и контроль технического состояния АД и ЭУ», «Проектирование конструкций узлов, блоков и модулей ВРД». В указанной выше программе подготовки бакалавров нет ни одного курсового проекта по конструкции двигателя или компоновочной схемы СУ. Как же не имея даже учебной практики проектирования, он может разрабатывать проекты?

### **1.2. Подготовка магистров**

Требования государственного стандарта к обучению магистра по направлению подготовки 160700 «Двигатели летательных аппаратов» состоят в следующем. Главное, он должен быть подготовлен к различным видам профессиональной деятельности. Это вполне обосновано, поскольку в дальнейшем он должен заниматься самостоятельной работой: научно-исследовательской; проектно-конструкторской; производственно-технологической; лабораторно-испытательной; организационно-управленческой. Очевидно, что образовательная подготовка магистра должна отражать в большей или меньшей степени все виды его профессиональной деятельности. Приведём некоторые требования, формирующие подготовленность будущих магистров к проектно-конструкторской деятельности: разработка проектов реактивных двигательных установок и энергоуста-

новок ЛА с учетом физико-механических, технологических, экологических и экономических параметров; использование современных информационных технологий, пакетов САПР при разработке новых двигательных, энергоустановок и их интеграции в конструкцию летательного аппарата.; разработка проектов технических заданий, технических условий и технических описаний; сопровождение полного жизненного цикла двигателя ЛА от стадии технического предложения до эксплуатации и утилизации двигателя и др. Нам представляется полезным в процессе проведения 18-го Международного конгресса двигателестроения провести обсуждение содержания учебных планов для обучения магистров и бакалавров, разработанных в различных авиационных университетах РФ и Украины, обменяться мнениями по их целесообразному содержанию и имеющемуся опыту их реализации.

## 2. Учебная литература

Учебники по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки», вышедшие в самое последнее время [4] и [5], представлены ниже, в списке литературы. В этих книгах содержатся разделы, относящиеся ко всему жизненному циклу авиационного двигателя и его силовой установки. Они подготовлены коллективами авторов, имеющих опыт преподавательской и практической деятельности в области авиационного двигателестроения. Аналогов такого рода литературы за рубежом, по имеющимся у нас сведениям, нет. Можно было бы рекомендовать дополнить эти учебники рядом учебных пособий, содержащих примеры и задачи по различным темам проектных расчётов или вариантов анализа и выбора конструктивных решений основных узлов СУ с АД и ЭУ. Можно привести большое количество монографий, относящихся к различным аспектам проектной и научно-исследовательской деятельности, связанной с проектированием, доводкой или эксплуатацией авиационных двигателей. Приведём, в качестве примера, одну из них [6], посвящённую проблеме контроля и диагностики технического состояния газотурбинных двигателей. Среди множества задач, решаемых в этом направлении проектировщиками, очень важно своевременно выявить повреждение и предотвратить возможные разрушения деталей и узлов двигателя, обеспечить безопасность полётов. Этими задачами занимается большой круг специалистов и подготовка магистра по этому направлению работ вполне оправдана. Нами приведен лишь один пример специализированной подготовки магистра по направлению «Двигатели летательных аппаратов». Этот список можно было бы продолжить и разработать рекомендательный документ с перечнем конкретных направлений учебной подготовки магистров, востребованных авиационной промышленностью.

## 3. Актуальные проблемы исследований и проектирования современных авиационных СУ

В последнее время выявилось несколько исключительно важных направлений проектных работ [7], определяющих повышение эффективности авиационных СУ на ЛА. Во-первых, это увеличение уровня энерговооружённости СУ ЛА, который определяется величиной соотношения силы тяги СУ к массе ЛА, выбираемый при проектировании. Этот параметр важен для любого ЛА, самолёта или вертолёта. Так, например, для нового российского боевого самолёта, разрабатываемого по проекту ПАКФА, он равен 1,4. Модернизированный МИГ 29 МК повысил величину своей энерговооружённости до значения 1,2. Модернизированный вертолёт Ми-8МСБ установил мировой рекорд максимальной высоты полёта 8200 м с двигателями увеличенной мощности ТВ3 117 ВМА – СБМ1В 4Е. Появились принципиально новые скоростные вертолёты с комбинированной силовой установкой. Современные гражданские российские самолёты также требуют новых, более эффективных двигателей. С этой целью ведётся разработка ТРДД ПД 14 для самолёта МС-21 с перспективными параметрами термодинамического цикла. Что касается СУ для ЛА военного назначения, то проходят летные испытания самолёт Т-50 с модернизированными, а позже с новыми, более мощными двигателями. Во всех этих и многих других работах могут принимать самое активное участие молодые специалисты, получившие образование по направлению «Двигатели летательных аппаратов». Конечно, имеется много нерешённых проблем, требующих своего решения. Это и снижение стоимости жизненного цикла отечественных АД и ЭУ, повышение их ресурса и надёжности, улучшение экологических характеристик. По проекту перспективных вертолётных двигателей предполагается создать семейство двигателей с улучшенными показателями экономичности и многое другое.

## Заключение

1. При переходе на двухуровневую систему образования возникает много организационных и финансовых проблем, поэтому в МАИ, наряду с подготовкой бакалавров и магистров, параллельно сохранено одноуровневое образование, обеспечивающее выпуск специалиста за 5,5 лет.

2. Совершенствование авиационной техники требует также и совершенствования учебного процесса по подготовке специалистов, способных решать задачи по проектированию узлов и систем авиационных двигателей и силовых установок летательных аппаратов на мировом уровне.

## Литература

1. ФГОС ВПО РФ по направлению подготовки 160700 Двигатели летательных аппаратов (квалификация (степень) "бакалавр") [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.fgosvpo.ru](http://www.fgosvpo.ru). – 12.05.2013.

2. ФГОС ВПО РФ по направлению подготовки 160700 Двигатели летательных аппаратов (квалификация (степень) "магистр") [Электронный ресурс]. – Режим доступа: или URb: [www.fgosvpo.ru](http://www.fgosvpo.ru). – 12.05.2013.

3. Mattingley, J.D. Elements of gas turbines propulsion [Text] / J.D. Mattingley. – New York: McGraw-Hill, Inc., 2005. – 960 p.

4. Иноземцев, А.А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических устано-

вок [Текст]: учеб. / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроение, 2008. – 1175 с.

5. Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий [Текст]: учеб. / Н.Н. Сиротин, А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, Е.Ю. Марчуков, А.Н. Сиротин, А.Б. Агульник, В.Г. Нестеренко. – М.: Наука, 2011. – 2012. – 2134 с.

6. Новиков, А.С. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей [Текст] / А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, Н.Н. Сиротин. – М.: Наука, 2007. – 470 с.

7. Авиационные двигатели [Текст] / под ред. И.Г. Шустова. – М.: ООО ИД «АЭРОСФЕРА», 2007. – 328 с.

Поступила в редакцию 23.05.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., генеральный директор М.К. Леонтьев, ООО «Альфа - Транзит», Москва.

## КОМПЛЕКСНА ПІДГОТОВКА УЧНІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «АВІАЦІЙНІ ДВИГУНИ І ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ»

*В.Г. Нестеренко, М.М. Сиротин, О.Б. Агульник, Ю.О. Равикович*

Розглядається зміст розділів навчального плану професійного циклу спеціальності «Авіаційні двигуни і енергетичні установки», необхідних для вивчення процесу проектування конструкцій інтегрованої силової установки (СУ), яка містить авіаційний двигун і енергетичну установку (АД і ЕУ), вхідний канал, мотогондолу, реверс тяги (при його наявності), агрегати і блоки «обв'язки» двигуна та їх сполучення з системами літального апарата (ЛА). Показано необхідність розширеної підготовки студентів, яка відбиває нові завдання, що стоять перед вітчизняною авіаційною промисловістю з імпортозаміщення зарубіжної техніки вітчизняними виробниками АД і ЛА, підвищенню їх ресурсу і надійності, зниженню вартості життєвого циклу та ін. Ці завдання повинні знайти відбиток у змісті навчальних програм дисциплін професійного циклу, які входять до навчальних планів ФГОС ВПО третього покоління за напрямком підготовки 160700 «Двигуни літальних апаратів» - кваліфікація (ступінь) «бакалавр» і «магістр», з метою підвищення якості навчання проектно-конструкторської професійної діяльності.

**Ключові слова:** силова установка, повітрозабірник, мотогондола, реверс, компресор, вентилятор, турбіна, сопло, суха маса.

## COMPREHENSIVE TRAINING OF UNIVERSITY STUDENTS IN «AIRCRAFT ENGINES AND POWER PLANTS»

*V.G. Nesterenko, N.N. Sirotnin, A.A. Agulnik, Y.A. Ravikovitch*

We consider the content of the curriculum of the professional cycle specialty "Aircraft engines and power plants" necessary to study the process of structural design of integrated power-plant (PP), which includes aircraft engine and power plant (PP), the input channel, nacelles, thrust reverse (if available), units and blocks of "tying" of the engine, and their connections with the systems of the aircraft (AC). Shows the need for enhanced training of students, reflecting the new challenges facing the domestic aviation industry on import substitution of foreign technology by domestic manufacturers of engines and aircraft, increasing their life and reliability, reduce the cost of their life cycle, etc. These tasks should be reflected in the content of curricula of disciplines professional cycle to be included in the curricula of the FGSYT third generation in the direction of preparation 160700 "aircraft engines" - qualification (degree) "bachelor" and the "master", To improve the quality of training of the design profession.

**Key words:** power-plant, airscoop, nacelle, revers, compressor, ventilator, turbine, nozzle, dry mass.

**Нестеренко Валерий Григорьевич** - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)», Москва, Россия, e-mail: [valerinesterenk@yandex.ru](mailto:valerinesterenk@yandex.ru).

**Сиротин Николай Николаевич** - д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник НИЦЭРАТ, МО РФ, Люберцы, Московская обл., e-mail: [asirotnin@yandex.ru](mailto:asirotnin@yandex.ru).

**Агульник Алексей Борисович** - д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, декан ф-та «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)», Москва, Россия, e-mail: [agulnik@mai.ru](mailto:agulnik@mai.ru).

**Равикович Юрий Александрович** - д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)», Москва, Россия, e-mail: [urav2@yandex.ru](mailto:urav2@yandex.ru).