

УДК 372.851

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ КОМПЕТЕНЦИИ БАКАЛАВРОВ-ИНЖЕНЕРОВ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, КАТЕГОРИИ, УРОВНИ И ИХ ОЦЕНКА

Анисова Т.Л.

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва,
e-mail: bolashova1@mail.ru*

В качестве требований к результату освоения математических дисциплин из общего списка компетенций бакалавра-инженера, перечисленных в Федеральном государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования по направлению подготовки «Энергетическое машиностроение», выделены три общекультурные и две профессиональные компетенции. К каждой из этих компетенций подобраны соответствующие математические компетенции, рассматриваемые нами как составляющая часть общекультурных и профессиональных компетенций. Математические компетенции разделены на три категории: понятийные, операционно-алгоритмические, прикладные. Выявлены три уровня математических компетенций (пороговый, продвинутый, высокий), установлены критерии определения этих уровней и соответствующие критерии отбора задач для текущего контроля. Предложенная система трехуровневых заданий является инструментом для оценки уровня математической компетентности будущего инженера.

Ключевые слова: инженерное образование, математика, математическая компетенция, математическая компетентность, Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования

MATHEMATICAL COMPETENCE UNDERGRADUATE ENGINEERS: DEFINITION, CATEGORIES, LEVELS AND EVALUATION

Anisova T.L.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: bolashova1@mail.ru

Three general cultural and two professional competences are highlighted as a result of the requirements for the mathematical disciplines development from the general list of bachelor-engineer competencies listed in the Federal state educational standards of higher professional education in the field of study «Power engineering». For each of these competencies corresponding mathematical ones are selected considered by us as a part of the general cultural and professional competences. Mathematical competences are divided into three categories: conceptual, operational-algorithmic and applied. Three levels of mathematical competences are identified (threshold, advanced and high), the criterion to determine these levels and the relevant selection criterion for monitoring tasks are established. The proposed three-level task system is a tool to assess the level of a future engineer mathematical competence.

Keywords: engineering education, mathematics, mathematical competence, Federal state educational standard of higher professional education

В настоящее время обучение во всех вузах России осуществляется в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования третьего поколения (ФГОС ВПО). Методологической основой образовательного стандарта в государственных документах признан компетентностный подход к обучению. Основным результатом обучения является определенный набор компетенций – совокупности смысловых ориентаций, знаний, умений, опыта деятельности учащегося [5].

В ФГОС ВПО (V раздел) в качестве требований к результатам освоения бакалаврами основных образовательных программ выделено два основных блока компетенций: общекультурные, обязательные для всех профилей, и профессиональные, отражающие специфику определенной профессиональной деятельности. В учебных программах, составленных на основе ФГОС ВПО, в качестве требований к результатам осво-

ения конкретных дисциплин выделяются также предметные компетенции, включающие предметные знания, умения, навыки, способы мышления.

Под *математической компетенцией* (на основе определений, предложенных А.В. Хуторским и разделяющимися большей частью педагогического сообщества [5]) будем понимать совокупность взаимосвязанных качеств личности, включающих математические знания, умения, навыки, способы мышления и деятельности, а также способность приобретать новые математические знания и использовать их в дальнейшей профессиональной деятельности. *Математическая компетентность* есть результат освоения математической компетенции, ее практическая реализация.

Формируя список математических компетенций бакалавров технических вузов, мы обратились к сборнику примерных программ математических дисциплин ФГОС ВПО третьего поколения, разрабо-

танных Научно-методическим советом по математике Министерства образования и науки РФ под руководством Л.Д. Кудрявцева [3]. В пояснительной записке к сборнику указано, что в результате изучения математических дисциплин бакалавр должен обладать:

– *универсальными математическими компетенциями*, среди которых общенаучные, инструментальные, социально-личностные;

– *предметно-социальными математическими компетенциями*, представляющими собой, по сути, систему усвоенных математических знаний, умений, навыков, а также способности бакалавров применять их в своей профессиональной деятельности.

Обратимся к ФГОС ВПО по направлению подготовки 141100 Энергетическое машиностроение [4]. В качестве требований к результату освоения математических дисциплин из общего списка компетенций бакалавра-инженера, перечисленных в стандарте, можно выделить три общекультурные и две профессиональные компетенции. К каждой из них подобраны соответствующие математические компетенции, причем универсальные математические компетенции рассматриваются нами как составляющая часть общекультурных компетенций ОК-1, ОК-2, ОК-6; предметно-социальные математические компетенции – как часть профессиональных компетенций ПК-2, ПК-3 (табл. 1).

Таблица 1

Компетенции бакалавра-инженера

Общекультурные и профессиональные компетенции инженера	Математические компетенции инженера
Способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1).	Обладать математическим мышлением, математической культурой как частью профессиональной и общечеловеческой культуры; владеть способами доказательств утверждений и теорем как основной составляющей когнитивной и коммуникативной функций; владеть методами анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов.
Умение логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь (ОК-2).	Владеть математической логикой, необходимой для формирования суждений по соответствующим профессиональным, социальным, научным и этическим проблемам; уметь представлять математические утверждения и их доказательства, задачи и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, как в письменной, так и устной форме.
Способность в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовность приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (ОК-6).	Обладать способностью к критике и самокритике, умением работать в команде; быть готовым приобретать новые математические знания; владеть развитыми учебными навыками и готовностью к продолжению образования;
Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2).	Иметь глубокие знания базовых математических дисциплин и проявлять высокую степень их понимания; демонстрировать понимание основных теорем и умение их доказывать; уметь решать математические задачи, аналогичные ранее изученным, но более высокого уровня сложности; уметь решать математические задачи из различных областей математики, которые требуют некоторой оригинальности мышления.
Готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3).	Уметь формулировать на математическом языке задачи среднего уровня сложности, поставленные в нематематических терминах, и использовать преимущества этой переформулировки для их решения; обладать способностью к применению знаний на практике, в том числе умением составлять математические модели типовых профессиональных задач и находить способы их решений, интерпретировать профессиональный (физический) смысл полученного математического результата.

Предметно-социальные математические компетенции, являющиеся частью профессиональных компетенций бакалавров-инженеров, условно можно разделить на три категории:

- *понятийные* – знание базовых определений и теорем; способность применять эти знания для решения задач;

- *операционно-алгоритмические* – знание основных алгоритмов; способность определять круг задач, для которых применим конкретный алгоритм; способность применять требуемый алгоритм;

- *прикладные* – видение прикладного аспекта дисциплины; способность применять базовые знания для решения задач прикладного характера.

Следовательно, для успешного формирования математических компетенций базовая направленность математических курсов должна находить свое выражение в явном выделении фундаментальных понятий; в активном использовании метода математического моделирования, заключающемся в составлении моделей и применении этих моделей на практике. Прикладная ориентация курса должна находить свое выражение в усилении внимания к приложениям математики и к методам приближенного вычисления. Необходимо, чтобы в каждом модуле были представлены задачи, приводящие к необходимости использования новой математической модели; изложены основы нового математического аппарата; указаны пути применения построенной математической модели к решению практических задач.

Математическая, как и любая предметная компетенция, не может быть сформулирована на одном, общем для всех и строго заданном уровне. В ФГОС ВПО (Раздел VIII. Оценка качества освоения основных образовательных программ бакалавриата) указано, что для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ООП (текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация) создаются фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций. Фонды оценочных средств разрабатываются и утверждаются вузом [4].

В методических рекомендациях для профессорско-преподавательских коллективов вузов, размещенных на портале ФГОС ВПО [1], зафиксированы следующие уровни сформированности компетенций у выпускников: как минимум, пороговый

уровень – обязательный для всех студентов-выпускников по завершении освоения основных образовательных программ ВПО, а также повышенные (один или несколько) уровни (относительно порогового). Назначение уровней компетенций – выстраивание этапности обучения на основе постепенного повышения сложности задач, которые способны самостоятельно решать студенты.

По характеру формулировок математических компетенций их можно разбить на следующие группы:

- Формулировки компетенций предполагают необходимость разделения на уровни в зависимости от сложности упомянутых математических теорий, утверждений, задач и т.п. уметь использовать знания математических дисциплин на соответствующем уровне – базовом, повышенном, продвинутом;

- демонстрировать способность к абстракции, в том числе умение логически развивать отдельные формальные теории и устанавливать связь между ними;

- уметь ясно и точно представлять математические утверждения и их доказательства, задачи и их решения;

- уметь решать математические задачи из различных областей математики, которые требуют некоторой оригинальности мышления.

2. В формулировках компетенций упомянуты различные уровни достижения без четкой градации.

- уметь переводить на математический язык простейшие проблемы, поставленные в терминах других предметных областей;

- уметь формулировать на математическом языке проблемы среднего уровня сложности, поставленные в нематематических терминах.

3. Формулировки компетенций предполагают заведомо повышенный уровень, но представляется возможным выделить в них пороговый (минимальный) уровень.

- уметь решать математические задачи, аналогичные ранее изученным, но более высокого уровня сложности (пороговый уровень – уметь решать математические задачи, аналогичные ранее изученным);

- уметь проводить доказательства математических утверждений, не аналогичных ранее изученным, но тесно примыкающих к ним (пороговый уровень – приводить доказательства математических утверждений, аналогичных ранее изученным);

- демонстрировать понимание основных теорем из различных математических курсов и умение их доказывать (пороговый уровень – демонстрировать понимание основных теорем).

Таблица 2

Критерии определения уровней математических компетенций и отбора заданий для текущего контроля

Уровень	Критерий определения уровня	Критерий отбора заданий
I пороговый	Знать и понимать основные определения и теоремы курса; знать и понимать актуальные проблемы математики в рамках учебной информации; уметь изложить основные теоретические проблемы математики; уметь найти необходимую информацию по математике; уметь репродуцировать имеющуюся информацию; быть готовым к воспроизведению полученных знаний.	Задачи, требующие умения применять в знакомой ситуации известные факты, стандартные приемы, распознавать математические объекты и свойства, применять известные алгоритмы и технические навыки.
II продвинутый	Уметь доказывать изученные теоремы; уметь доказывать математические утверждения, аналогичные ранее изученным; уметь анализировать и синтезировать полученную информацию; знать и понимать междисциплинарные основы математики; уметь использовать математические термины в устной беседе.	Задачи, которые не являются типичными, но знакомы студентам или выходят за рамки известного лишь в небольшой степени.
III высокий	Знать и понимать актуальные проблемы математики, выходящие за рамки учебной информации; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь представлять, объяснять, анализировать и интерпретировать полученные результаты; уметь доказывать математические утверждения, не аналогичные ранее изученным; уметь вести научную дискуссию; уметь устанавливать междисциплинарные связи; уметь систематизировать полученную информацию.	Задачи, для решения которых требуются определенная интуиция, размышления и творчество в выборе математического инструментария, интегрирование знаний из разных разделов курса математики, самостоятельная разработка алгоритма действий.

На основании проведенного анализа нами выделены критерии определения трех уровней математических компетенций (пороговый, продвинутый, высокий). Эти критерии, в свою очередь, послужили критериями отбора заданий для текущего контроля, являющимися средством оценки уровней достижения математических компетенций бакалавров-инженеров (табл. 2).

Например, при изучении темы «Дифференциал функции», отобраны и разделены согласно определенным уровням следующие задачи для самостоятельной работы [2].

Задачи на формирование понятийных математических компетенций:

Уровень 1) Известно, что в некоторой точке x_0 значение производной функции $y = f(x)$ равно 5. Найдите значение дифференциала функции в точке x_0 при $\Delta x = -0,3$.

Требуется уметь применить в знакомой ситуации известную формулу $dy = y' \Delta x$ (непосредственная подстановка значений в формулу).

Уровень 2) Дана функция $f(x) = x^2$. Известно, что в некоторой точке приращению независимой переменной соответствует главная часть приращения функции, равная $(-0,8)$. Найти начальное значение независимой переменной.

Требуется проанализировать условие задачи; знать определение дифференциала

функции; понять, какую формулу необходимо применить для решения задачи; уметь выразить из нее искомое значение.

Уровень 3) Найдите дифференциал функции $y = x^3 - 2x^2 + x + 3$ двумя способами: а) как главную линейную часть приращения функции; б) при помощи производной. Сравните полученные результаты. Могли они оказаться различными?

Требуется знать и глубоко понимать определение дифференциала функции и приращения функции; уметь вычислять дифференциал различными способами; уметь выполнять алгебраические преобразования, уметь представлять, объяснять анализировать и интерпретировать полученные результаты.

Задачи на формирование операционно-алгоритмических математических компетенций:

Уровень 1) Найдите дифференциал функции $y = \sin \ln x$.

Уровень 2) Дана функция $y = \sin z$, где $z = a^x$. Выразите $d^2 y$ через:

а) z и dz , б) x и dx .

Уровень 3) Докажите, что функция $f(x) = \frac{1 + \ln x}{x}$ удовлетворяет уравнению

$$x^2 dy = (1 - xy) dx.$$

Задачи этого типа направлены на закрепление алгоритмических умений – в данном

случае умение вычислять дифференциал функции. Как правило, они отличаются варьированием условий, либо уровнем сложности, проводимых в ходе вычислений математических преобразований.

Задачи на формирование прикладных математических компетенций:

Уровень 1) Вычислите приближенно с помощью дифференциала $\sqrt{9,02}$.

Уровень 2) Найдите приращение и дифференциал функции $y = \sqrt{x}$ в при $x = 10$ и $\Delta x = 0,1$. Вычислите абсолютную и относительную погрешности, которые допускаются при замене функции ее дифференциалом. Сделайте чертеж. Объясните геометрический смысл дифференциала.

Уровень 3) Период колебания маятника (в секундах) определяется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ где } l - \text{длина маятника (в сантиметрах) и } g = 981 \text{ см/с}^2.$$

На сколько нужно изменить длину маятника $l = 20$ см, чтобы период колебания увеличился на $0,05$ с?

Предложенные задачи на использование дифференциала функции в приближенных вычислениях. В первых двух задачах для приближенных вычислений $\sqrt{9,02}$ и $\sqrt{10,1}$ необходимо использовать дифференциал одной и той же функции $y = \sqrt{x}$. Однако во второй задаче есть дополнительные условия – вычислить приращение функции, найти погрешность и проинтерпретировать полученные результаты. Для решения третьей – физической задачи студентам необходимо самостоятельно построить матема-

тическую модель и разработать алгоритм решения, а также представить и объяснить результат.

Список литературы

1. Азарова Р.Н. Разработка паспорта компетенции: методические рекомендации для организаторов проектных работ и профессорско-преподавательских коллективов вузов / Р.Н. Азарова, Н.М. Золотарева. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, Координационный совет УМО и НМС высшей школы, 2010. – 52 с.; URL: <http://www.fgosvo.ru/uploadfiles/npo/20120325222633.pdf> (дата обращения 02.10.2015).
2. Анисова Т.Л., Корешкова Т.А. Система трехуровневых заданий для оценки сформированности математических компетенций бакалавров (на примере обучения в техническом вузе) // Современные подходы к оценке и качеству математического образования в школе и вузе: Материалы XXXII Международного научного семинара преподавателей математики и информатики университетов и педвузов. – Екатеринбург, 2013. – С. 110–111.
3. Сборник программ математических дисциплин цикла МиЕН Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования 3-его поколения; URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/ppd/20110329002116.pdf> (дата обращения 02.10.2015).
4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 141100 Энергетическое машиностроение. URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/14/20111115144231.pdf> (дата обращения 02.10.2015).
5. Хуторской А.В. Ключевые компетенции как компонент личностно ориентированной парадигмы образования. Народное образование. – 2003. – № 2. – С. 58–64.