

УДК 378.22

Методика проектирования и компетентностно-целевой анализ контрольно-диагностических материалов для вступительных испытаний в магистратуру

Дорофеев А. А.^{1,*}, Ирьянов Н. Я.¹

* a.a.dorofeev@bmstu.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Даны методика и технология проектирования и примеры контрольно-диагностических материалов для письменных вступительных испытаний в магистратуру, разработанные на основе компетентностного целеполагания с двумерным представлением образовательных целей. Анализируются задания трех уровней деятельностно-содержательной сложности с текстовым и графическим интерфейсами и их эталонные решения. Предлагается методика оценки выполнения заданий и варианта гетерогенного теста в целом по степени приближения к эталонному решению.

Ключевые слова: магистратура, вступительные испытания, тест, контрольно-диагностические материалы, компетентностные цели образования, проектирование

Разработанные методологические, методические основы и подходы к проектированию контрольно-диагностических материалов (КДМ) для письменных вступительных испытаний (ВИ) в магистратуру [1] предусматривают обязательное компетентностное целеполагание образовательного процесса как на предшествующем участке пройденной абитуриентом образовательной траектории (бакалавриат или специалитет), так и на последующем – в магистратуре [2, 3]. Это обстоятельство должно быть обязательно учтено при составлении заданий КДМ как конкретизация закономерностей тестирования [4] применительно к диагностированию именно компетентности [5].

Диагностируемая интегральная характеристика абитуриента в свете реализации двуединой функции ВИ – дифференцирование и ранжирование абитуриентов по прогнозируемой успешности обучения в магистратуре – может быть определена как **степень соответствия** испытуемого требованиям к свойствам личности, необходимым и достаточным для успешного обучения в магистратуре.

В эти требования входят состав и характеристики ранее приобретенных, присвоенных и освоенных абитуриентом знаний и умений, включая навыки, повышающие скорость решения задач, (ЗУН) по их предметному содержанию и категорийному уровню. Они должны проявляться, реализовываться в настоящей (актуальной) и будущей деятельности, что требует определенных качеств личности, состояния её

подготовленности и психологической готовности к деятельности. Поскольку в основе образовательного процесса магистратуры лежит учебно-познавательная деятельность с преобладанием исследовательской компоненты, предметно конкретизированной областью будущей профессиональной деятельности выпускника, ВИ и соответствующие КДМ призваны выявить в основном **уровень** приобретенной на предшествующем участке образовательной траектории **учебно-познавательной компетентности**, которая должна объективно отразиться, выразиться в решениях заданий теста и итогах ВИ, прогнозирующих успешность будущей деятельности магистранта.

Модифицируя двумерную таксономию учебных целей [3], сохранив категорийное представление уровня знаний от фактического до метазнаний, и перейдя от шести уровней познавательной деятельности к пяти уровням деятельностного освоения и проявления приобретенных знаний, представим требования к тестовым заданиям КДИ в виде таблицы. В ячейках таблицы указаны соответствующие уровни деятельностного усвоения учебного знания (по В.П. Беспалько [6] в порядке повышения уровня и сложности деятельности): «О»¹ – опорный или ученический; «А» – алгоритмический; «Э» – эвристический; «Т» – творческий, а горизонтальной стрелкой обозначена возможность некоторого среднего уровня деятельностного проявления приобретенных знаний. При этом имеется в виду то, что реализация усвоенного учебного знания на уровнях от «А» до «Т» непосредственно или опосредовано включает деятельность по использованию знаний, усвоенных на предшествующих уровнях.

Таблица 1. Структурно-содержательное деятельностное представление заданий теста

Категория знания	Уровни деятельностной реализации знаний				
	Воспроизведение	Объяснение, интерпретация	Воспроизведение по алгоритму	Анализ	Синтез
Фактическое (рецептурное, декларативное)	1-й уровень сложности, «О»				
Концептуальное (тезаурус)	1-й уровень сложности, «О»	1-й уровень сложности, «О»→«А»			
Процедурное (алгоритмы)	1-й→2-й уровни сложности, «О»→«А»	1-й→2-й уровни сложности, «А»	2-й уровень сложности, «А»		
Метазнание (эвристики, знания о выработке знаний)			2-й уровень сложности, «Э»	2-й→3-й уровни сложности «Э»→«Т»	3-й уровни сложности «Э»→«Т»

¹ Модифицируем эту категорию применительно к высшему образованию как уровень **опорный** – «О», т.е. необходимый для узнавания, припоминания и воспроизведения без подсказки или «наизусть», или «своими словами» с передачей, а, следовательно, возможно, что и с пониманием смысла.

Следуя [1], конкретизируем структуру КДМ, ограничившись тремя уровнями сложности заданий теста по необходимому уровню деятельности (**деятельностный уровень сложности** задания), **первый** из которых – отвечает заданиям, требующим от испытуемого воспроизведения и интерпретации, объяснения знаний.

Второму уровню деятельностной сложности соответствуют задания, выполнение которых включают рутинные действия по алгоритмам (репродуктивные действия), которые должны быть известными и освоенными тестируемым до уровня умений с элементами навыков – ЗУН, что требуется для выполнения заданий теста в ограниченный промежуток времени. Максимальный **третий уровень деятельностной сложности** предусматривает обязательные репродуктивные действия с усвоенными знаниями с элементами выработки субъективно нового информационного содержания (локально субъективно-продуктивная деятельность). Ввиду функциональной системной связи между этапами деятельности испытуемого в продолжении выполнения единого теста (распределенная дискретная по решаемым задачам деятельность с единой целью), рекомендуется организовать, спланировать деятельность испытуемого при выполнении заданий теста разного уровня сложности с возможностью последовательного повышением уровня сложности заданий (см. Таблицу 1).

При выполнении задания **первого уровня деятельностной сложности** проявляются фактические, в том числе рецептурные знания, представления которых зачастую не возможно без их понимания в контексте, задаваемом предметно-проблемной областью и её тезаурусом, усвоение которого необходимо включает концептуальные представления. Условной мерой структурной сложности задания этого уровня можно считать **фактор структурной сложности** Φ , равный значению натурального логарифма числа, равного факториалу АДИ!, $\Phi = \ln \text{АДИ!}$, где АДИ – число атрибутивных дидактических единиц, т.е. неодинаковых дидактических единиц, входящих в задание и ответ в качестве необходимых, существенных, ключевых, при том что имеют в виду дидактические единицы, обозначаемые одним термином каждая. При этом особенность восприятия информации человеком системно и в целом ограничивает число существенных факторов «числом Миллера» 7 ± 2 и в определении интегральной дидактической единицы не целесообразно объединять более 9 атрибутивных дидактических единиц, которые могут быть расположены в $9!$ различных упорядоченных последовательностях (очередях). Т.е. минимальное значение фактора структурной сложности таких задач $\Phi_{\text{мин } 1} = \ln 5! = 4,79$, а максимальное $\Phi_{\text{макс } 1} = \ln 9! = 12,8$ при среднем $\Phi_{\text{сред } 1} = \ln 7! = 8,525$. Эта оценка может выступить мерой масштаба числа баллов, которым оценивается правильный ответ на задание первого уровня, например, **8** баллов.

Задания **второго уровня деятельностной сложности**, обязательно включающие в себя как этап деятельность первого уровня (узнавание, воспроизведение и понимание), требуют проявления процедурных умений и навыков в деятельности по выполнению программируемых (рутинных) действий по известным и воспроизводимым на память правилам и алгоритмам в условиях, которые те же, что и оговорены в правилах. При этом

проявляются аналитические, исследовательские компетентности, включающие действия по вычленению в целом объекте его элементов и установлению их взаимосвязей.

Очевидно, что при равном или близком числе атрибутивных дидактических единиц фактор структурной сложности Φ таких заданий будет выше, чем у заданий первого уровня за счет необходимости выделения существенных, атрибутивных дидактических единиц, их группирования (анализ – логическая, качественная переработка информации без её увеличения), т.е. дополнительное вовлечение в деятельность новых, в том числе, сгенерированных АДИ: $\Phi_{\text{сред } 1} \leq \Phi_{\text{сред } 2}$.

Выработка ответа **на задания третьего уровня деятельностной сложности** включает деятельность, входящую в решение заданий предыдущих уровней, и обязательно содержит элементы преобразований информации – анализ и синтез, логика которых формально не следует из известных правил и алгоритмов, достаточных для выполнения заданий второго уровня. При этом испытуемый проявляет интуицию или действует по некоторым, не всегда артикулируемым нечетким, некатегоричным правилам, следование которым не гарантировано, но в большинстве случаев приближает к получению результата, повышают вероятность успеха в выработке, синтезе нового информационного содержания (так называемые эвристики, эвритмы и др.), что является творческими элементами формируемой инженерной ментальности [7–8].

Проявляемые здесь конструктивные или проектные компетентности связаны с умственными продуктивными проектными действиями по моделированию того, что создается, но пока не существует. Существенной для инженера способностью является пространственное воображение, которое может деятельностно проявиться в эйдетических (от англ. *eidetic image* - проецированный образ зрительной или другой модальности) компетентностях – способностях формировать системный по качествам образ объекта и синтезировать его зрительно воспринимаемую модель (дизайн, чертеж, схема, график). Проявлению этих компонент способствует графический интерфейс заданий теста.

Сложность заданий этого уровня зависит не только и не столько от числа входящих в него исходно атрибутивных дидактических единиц, но и от качественного состава необходимых и достаточных взаимосвязанных аналитико-синтетических действий с логически недетерминированными компонентами (с функцией дополнительных виртуальных АДИ), чему соответствует соотношение между факторами структурной сложности: $\Phi_{\text{сред } 1} \leq \Phi_{\text{сред } 2} \leq \Phi_{\text{сред } 3}$.

По некоторым, включая авторские, экспертным оценкам для тестовых заданий КДМ с элементарным творческим компонентом можно принять приближенное соответствие $\Phi_{\text{сред } 3} \approx 2 \Phi_{\text{сред } 1}$. Учитывая увеличение числа АДИ и необходимое повышение категории деятельности до творческой, оценить задание **3-го уровня деятельностной сложности** можно оценить вдвое большим баллом, чем первого уровня, т.е. 16 баллами. Тогда в среднем оценку заданий **второго деятельностного уровня сложности** представляется целесообразным ограничить 12 баллами.

Выработка контента тестовых заданий КДМ, с одной стороны, должна учитывать **междисциплинарность** и **интеграционную сущность** основной выявляемой компетентности – подготовленности, готовности и способности к учебно-образовательной деятельности на заданном программой магистратуры деятельностно-информационном уровне, к личностному развитию и саморазвитию, а, с другой – то, что эта компетентность проявляется и оценивается только в предметно-конкретной деятельности, которая с целью повышения валидности полученных результатов ВИ должна моделировать будущую учебную и профессиональную деятельность. Надпредметная и межпредметная природа и многофункциональность выявляемой компетентности обосновывает целесообразность создания банка заданий для КДМ по тематике нескольких дисциплин, предварительное освоение которых на предшествующем участке образовательной траектории, например, в бакалавратуре, необходимо для выполнения программ магистерского учебного плана.

За предметно-содержательную основу КДМ может быть взята также пропедевтическая дисциплина, задающая и/или предвосхищающая структуру магистерского учебного плана, в том числе представленные в её программе и учебно-методической литературе контрольно-измерительные материалы. Примером такой дисциплины может быть «Общая теория ракетных двигателей» для направления «Двигатели летательных аппаратов» с полным комплектом контрольно-измерительных материалов, представленным в блочно-модульном учебнике [9].

Межпредметные по содержанию задания в КДМ могут быть составлены также на базе методических материалов по курсовому проектированию, которое включает, реализует деятельностную межпредметную интеграцию ЗУН в компетенции в процессе решения входящих в собственно проектирование проблемных вопросов, моделирующих будущую профессиональную проблематику. При этом наибольшая трудность и объем работы связывается с составлением эталонных ответов [10].

Диагностируемые компетентности могут быть наиболее полно проявлены тестируемым, если задания 2-го и 3-го уровней деятельностной сложности сформулированы по кейс-методике (от англ. **case** – случай, дело), когда описанная вербально или представленная транслингвистически (формулы, чертежи, графики, схемы, изображения) проблемная ситуация требует осмысления, понимания, декодировки и формализации, в процессе чего абитуриент проявляет общую и профессиональную эрудицию. При этом в выборе допущений, позволяющих решить задачу за выделенное на это время, косвенно отражается самооценка его подготовленности, освоенный инструментарий и личностная характеристика – уровень притязаний и объем информированности в области науки, в которой он планирует работать [1].

Приведенные рекомендации и методика реализованы при разработке демонстрационного варианта тестового задания для условных ВИ в магистратуру по направлению «Двигатели летательных аппаратов» специализация «Ракетные двигатели» (Приложении 1).

Из составляющих вариант десяти заданий первые 6 (№1...№6) по структурно-содержательным характеристикам необходимой деятельности относятся к 1-й группе сложности, соответствующей назначенному максимально возможному числу баллов за каждое выполненное задание – 8. Три следующие задания с номерами №7...№9 оцениваются как относящиеся ко 2-й группе деятельностной сложности оценкой до 12 баллов включительно каждая. Последнее, десятое задание (№10) имеет максимальную характеристику сложности и при правильном и полном выполнении (решении задачи) может дать до 16 баллов включительно в общую набираемую за выполненные варианты в целом сумму 100 баллов. Соответствие задания конкретному уровню по структуре и уровню необходимой для их выполнения деятельности установлено априори согласно описанной методике и с учетом экспертных оценок. К каждому заданию приложено эталонное решение и сформулированный ответ, а также оценка количества атрибутивных дидактических единиц (АДИ) и соответствующий фактора сложности Φ , который может иметь значение качественного частного, локального ориентира при экспертной корректировке задания и/или уточнении оценивающего его балла.

В частности, количество АДИ в ответе испытуемого на задания №1...№6 может использоваться для определения (в первом приближении) балла, оценивающего выполнение задания, как доли от максимально возможного, пропорциональной соотношению АДИ в оцениваемом и эталонном решениях. Отказ испытуемого от выполнения задания по тем или иным причинам свидетельствует, скорее всего, об отсутствии у испытуемого готовности как необходимой компоненты компетентности, которая должна проявиться в результатах репродуктивной деятельности по воспроизведению сложных дидактических единиц, входящих как понятия в тезаурус профессионально-предметной области.

Причем воспроизводимые сложные дидактические единицы содержат от 7 до 9 АДИ, каждая из которых может быть как простой, первичной для предметной области (теории двигателей), так и сложной (включающей несколько дидактических единиц из базовых областей, например, газовой и термодинамики). При этом воспроизведение сложной дидактической единицы может потребовать комбинаторных действий с атрибутивными признаками (задание №1), или модификации признаков (раскрытие термина *другие* в задании №5), функциональную связь между которыми необходимо выявить и оценить по типовому алгоритму (задание 6), что приближает это задание ко второй группе по деятельностной сложности.

Уровень знаний, которыми манипулирует тестируемый при выполнении заданий №1...№6 – от фактического, рецептурного и декларативного до концептуального с элементами процедурного в процессе репродуктивной деятельности по воспроизведению и интерпретации освоенного знания (информации) в тезаурусе (см. 1 и 3 строки 2 и 3 колонок таблицы).

Выполнение заданий №7...№9 следующего, 2-го деятельностного уровня сложности (см. 3 и 4 строки 4 и 5 колонок таблицы) требует репродуктивной деятельности по

интерпретации, структурному анализу и алгоритмизированным действиям с усвоенными знаниями (информацией), относящимися к категориям от фактической до процедурной (алгоритмической): интерпретируется текст кейс-задания и раскрываются качественные и количественные взаимосвязи (через базовые формулы, отражающие фундаментальные законы сохранения), моделируемые количественно по типовым алгоритмам с элементами действий эвристического характера с 9 или 10 АДИ. При этом собственно решение задачи требует применения междисциплинарных знаний, например, химического формализма (задание №9), на уровне навыков, а ответ представляется в диагностируемой количественной форме.

Для ВИ на направления магистратуры, предусматривающие изучение и прикладные исследования технических объектов, представляется важным уровень подготовленности абитуриента в части владения инженерными транслингвистическими средствами интерфейса, в частности ЗУН в области интерпретации и презентации информации в виде графиков. Пример задания 2-го уровня деятельности сложности, ориентированного на косвенное диагностирование этих показателей готовности к обучению в магистратуре, представлен в приложении (**Приложение 2**. Вариант задания 2-го уровня сложности с графическим интерфейсом), где кейс-текст дополнен графической частью. И ответ должен быть представлен как расчетами, так и графиком с координатами характерных точек.

Приведенное там же эталонное выполнение задания, которое соответствует максимальной оценке 12 баллов, включает в себя получение уравнения прямой (1) и её построение с обозначением пар координат характерных точек: точка нулевой тяги $p_{к01} = p_{к02}$ (2; 3); тяги при нулевом расходе

$P_{2\ pк=0}=0,5P_{1\ pк=0}$ (4; 5); тяги при давлении в камере, соответствующем расчетному режиму работы сопла $p_{к\ pp1} = p_{к\ pp2}$ (6); $P_{pp2} = 0,5P_{pp1}$ (7)².

Если решение этой задачи, представленное абитуриентом, не включает нахождение всех семи факторов или АДИ, то при определении оценки в баллах учитывается количество отсутствующих координат (в первом приближении – линейно, пропорционально).

Задача максимального 3-го уровня (см. 4 строку в 5 и 8 колонках таблицы), предусматривающего продуктивную деятельность с элементами выработки нового информационного содержания (продуктивная компонента деятельности), также может быть сформулирована или исключительно в текстовом формате (задача №10 в приложении 1), или с комбинацией текстового и графического интерфейсов (**Приложение 3**. Вариант задания 3-го уровня сложности с графическим интерфейсом).

В текстовой кейс-задаче №10 требуется раскрыть взаимосвязи между понятиями в процессе действий по алгоритму с элементами поисковых продуктивных действий и возможностью **выхода на творческие операции** эвристического типа для снятия неоднозначности исходных данных: указание на двухзонную схему ЖГГ – избыточные

² Здесь и далее в скобках указывается число, означающее порядковый номер фактора, например, координаты характерной точки, эквивалентного АДИ в качестве существенного признака решения.

данные; место ЖГГ в ЖРД с дожиганием – косвенное обоснование возможности пренебречь диссоциацией. Высокие давления, характерные для ЖРД первой ступени ракеты-носителя, и относительно низкие значения температуры, свойственные ЖГГ в ЖРД с дожиганием (что должно быть известно абитуриенту), на вероятностном гипотетическом уровне (локально-субъективная продуктивная деятельность с вероятностной ценностью результатов) или интуитивно (элемент инженерной ментальности) обосновывают допущение об отсутствии диссоциации продуктов газогенерации (креативная компонента деятельности). Дальнейшие вычисления как репродуктивные действия выполняются по типовым алгоритмам, применяемым к характеристикам выделенных элементов (анализ) с получением нового информационного результата (синтез) – запрашиваемого значения паросодержания.

Здесь деятельность с элементами анализа-синтеза отражает сформированные у абитуриента основы конструктивных или проектных компетентностей, связанных с умственными продуктивными действиями по моделированию создаваемого объекта. Выявлению способностей тестируемого к приобретению этих компетенций способствует графический интерфейс задания, представленного в приложении 3, где большая часть исходной информации представлена транслингвистически – в виде совпадающих линий графиков разноименных параметров (тяги и удельного импульса), что создает видимость уникальности исходных данных и субъективно затрудняет понимание поставленной проблемы.

Оцениваемое максимальным баллом 16 правильное решение включает в себя получение уравнений прямых для I_{y2} (1) и P_2 (2) и их построение с обозначением координат характерных точек: общей точки нулевой тяги $p_{h02} = 4 p_{h01}$ (3; 4); тяги и удельного импульса в пустоте $P_{n2}=2 P_{n1}$ (5; 6) и соответственно $I_{yn2}= I_{yn1}$ (6;8); а также равным скорости истечения удельным импульсам $I_{ypp2}=I_{ypp1}=W_a$ (9) при давлении окружающей среды, соответствующем расчетному режиму работы сопла $p_{hpp2} = 4 p_{hpp1}$ (10). Относительно невысокое значение фактора структурной сложности $\Phi = \ln 10! = 15,1$ не отражает реальную деятельностную сложность задания, выполнение которого включает креативные действия по дополнению задания системой допущений об идеальном протекании рабочих процессов в камере и сопле РДТТ и записью соответствующих частных вариантов уравнений сохранения. При этом требуется адекватно интерпретировать совпадение графиков разнородных функций (тяги и удельного импульса) с разными размерностями, что формально является алогичным, «не по правилам», которых здесь не может быть в принципе. Выход из этой проблемной ситуации, выраженной транслингвистически, является элементом творческой (исследовательской) деятельности.

Если выполненное абитуриентом решение этой задачи содержит меньше, чем 10 факторов, как в эталонном решении, то задачу можно в первом приближении оценить соответствующей пропорциональной долей от максимального балла. Корректировка этой

оценки первого приближения возможна с учетом мнения проверяющего эксперта о разном вкладе в решение задачи отдельных аспектов решения.

Успешное выполнение всех заданий теста за установленное время возможно только в случае, когда производятся только необходимые и достаточные действия, часть которых совершается на уровне ментальных и моторных навыков, наличие которых в личном наборе средств желательно для продолжения образования в магистратуре.

Заключение

Из приведенного анализа следует, что представленный в качестве примера КДМ вариант задания для гетерагенного теста открытого типа соответствует требованиям компетентностного целеполагания и функционально-целевому представлению целей ВИ в магистратуру и содержит разноуровневые задания, в том числе, в противоположность классической теории тестов, целенаправленно некорректно сформулированные вопросы, т.е. с избытком или недостатком исходных данных и нечетко сформулированной целью или без критерия качества. Это дает возможность диагностировать у тестируемого учебно-познавательную компетентность, включая её творческие компоненты. Аналогичные по качествам тесты в сочетании с приведенной методикой оценки успешности ответа на каждый вопрос должны обрабатываться представителями авторитетного профессионального сообщества педагогов, выступающих в качестве экспертов.

Реализующие методологические основы и подходы к проектированию КДМ для письменных ВИ в магистратуру [1], представленные и проанализированные в настоящей статье задания, можно рассматривать в качестве технологического примера, обладающего априорно обусловленными инновационными качествами.

На основе опыта приемной комиссии университета авторы позволяют себе прогнозировать успешное проведение массового приема на магистерские программы, если КДМ в виде тестовых заданий будут составляться согласно представленным рекомендациям и примерам, и проверяться высококвалифицированными преподавателями-экспертами, имеющими опыт приема вступительных экзаменов и разработки заданий для курсового проектирования.

Список литературы

1. Дорофеев А.А., Ирьянов Н.Я. Структура и контент контрольно-диагностических материалов для вступительных испытаний в магистратуру вуза, работающего по собственным образовательным стандартам // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 11. С. 817-826. DOI: [10.7463/1114.0740501](https://doi.org/10.7463/1114.0740501)
2. Татур Ю.Г. Образовательный процесс в вузе. Методология и опыт проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 224 с. (Сер. Педагогика в техническом университете).

3. Цветков Ю.Б. Особенности проектирования учебных целей дисциплин инженерных образовательных программ // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 3. С. 331-344. DOI: [10.7463/0315.0761285](https://doi.org/10.7463/0315.0761285)
4. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий: учеб. книга. 3-е изд., доп. М.: Центр тестирования, 2002. 240 с.
5. Темняткина О.В., Феофилова Э.М. Оценка компетентностных результатов учебной дисциплины и междисциплинарного курса в профессиональной образовательной организации // Концепт. 2014. № 9. Ст. № 14244. Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2014/14244.htm> (дата обращения 01.04.2015).
6. Беспалько В.П. *Слагаемые педагогической технологии*. М.: Педагогика, 1989. 192 с.
7. Добряков А.А. Психолого-педагогические основы подготовки элитных специалистов как творческих личностей (содержательные элементы субъект-объектной педагогической технологии): учеб. пособие. М.: Логос, 2001. 334 с.
8. Добряков А.А., Печников В.П. Высшие психические функции и функциональная структура гуманизированного образовательного стандарта (модели, методология, примеры): учеб. пособие. М.: Логос, 2001. 245 с.
9. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 571 с.
10. Березанская Е.Л., Буркальцев В.А., Волков В.Т., Дорофеев А.А., Кудрявцев В.М., Леонтьев Н.И., Сухов А.В. Сборник задач и вопросов по основам теории и расчета ракетных двигателей / под ред. В.М. Кудрявцева, А.А. Дорофеева. М.: Изд-во ЦНИИНТИ КПК, 1995. 228 с.

Приложение 1.

Демонстрационный вариант тестового задания с эталонными решениями для условных вступительных испытаний в магистратуру по направлению «Двигатели летательных аппаратов» специализация «Ракетные двигатели»

1. По каким атрибутивным признакам ракетный двигатель может быть отнесен к ЖРДМТ?

ОТВЕТ: Понимание стандартного сокращения: ЖРДМТ – жидкостный ракетный двигатель малой тяги. Атрибутивные признаки (атрибутивные дидактические единицы) ЖРДМТ₁ – ракетный₂ двигатель₃, работающий на жидком₄ топливе₅ и развивающий тягу₆ не более 1600 Н₇. (Здесь и далее нижний индекс у термина означает порядковый номер соответствующей атрибутивной дидактической единицы или эквивалентного существенного фактора)

Воспроизведение дидактической единицы и комбинаторные действия с атрибутивными признаками. В ответе 7 АДИ. $\Phi = \ln 7! = 8,525$.

2. Дайте определение ракетного двигателя.

ОТВЕТ: Ракетный₁ двигатель₂ это реактивный₃ двигатель, при работе₃ которого используются₄ только вещества₅ и источник энергии₆, имеющие в запасе на аппарате₇, предназначенном для перемещения₈.

Воспроизведение сложной дидактической единицы. Всего в ответе 8 атрибутивных дидактических единицы (АДИ), фактор структурной сложности $\Phi = \ln 8! = 10,6$

3. Дайте определение тяги ракетного двигателя.

ОТВЕТ: Тяга – равнодействующая газо₁- и гидродинамических₂ сил₃, действующих на внутренние поверхности₄ двигателя при истечении₅ из него вещества₆, и сил давления окружающей среды₇, действующих на его внешние поверхности₈, за исключением внешнего аэродинамического сопротивления₉.

Воспроизведение сложной дидактической единицы. В ответе 9 АДИ, $\Phi = \ln 9! = 12,8$.

4. Дайте определение идеального теплового ракетного двигателя и конкретизируйте его положения применительно к РДТТ.

ОТВЕТ: Идеальный РДТТ это ракетный двигатель₁ на твердом ракетном топливе (ТРТ)₂, работающий по циклу идеальной тепловой машины₃ (горению заряда ТРТ и образованию рабочего тела₅ соответствует изобарный подвод теплоты₆ к идеальному газу₇, который адиабатно₇ и изэнтропно₈ расширяется в сопле₉).

Воспроизведение сложной дидактической единицы и её модификация (конкретизация признаков от общего к частному). В ответе 9 АДИ, $\Phi = \ln 9! = 12,8$.

5. Перечислите факторы, обуславливающие отличие реального рабочего процесса в сопле от его идеального представления.

ОТВЕТ: По ГОСТ 17655-89: *рассеяние (1)*, как неравномерность параметров потока в выходном сечении сопла; *трение* и *загромождением* проходного сечения сопла пограничным слоем (2); *химическая неравномерность* течения (3); *многофазность* (4); *прочие потери* (5). По учебнику [9]: *химическая неравномерность*₁ течения (1); *неравномерность потока*₂ в минимальном сечении сопла₃ (2); *рассеяние*₄ потока в

выходном сечении сопла₅ (3); трение₆ и вытеснение₇ (4); многофазность₈ (5); неадиабатность₉ (6).

Воспроизведение сложной дидактической единицы и её модификация (раскрытие позиции *другие*). В ответе 9 ДИ. $\Phi = \ln 9! = 12,8$.

6. Как изменится значение скорости истечения рабочего тела при увеличении давления в камере идеального ЖРД, работающего в пустоте?

ОТВЕТ: Из условия постоянства состава₁ и свойств₂ рабочего тела₃ вне зависимости от давления₄, т.е. $T_k = \text{const}$, $k = \text{const}$, $R = \text{const}$ и неизменности размеров₅ сопла₆ из соотношения для газодинамической функции₇ $F_{кр}/F_a = q(\lambda_a, k) = \text{const}$ следует соотношение для относительной скорости₈ $\lambda_a = \text{const} = W_a/a_{кр} = W_a/(kRT_{кр})^{0,5}$ и скорости звука₉ $W_a = \text{const}$, т.е. **скорость истечения не изменится.**

Выражение понимания терминов и взаимосвязи между существенными признаками с элементами действий по типовому алгоритму. В ответе и решении 9АДИ, $\Phi = \ln 9! = 12,8$.

7. Как изменятся основные параметры (значения внутренней тяги₁ и удельного импульса₂ для пустотных условий₃) работающего на уровне моря₄ первоначально на расчетном режиме₅ РДТТ₆ при увеличении горячей поверхности заряда₇ на 11%? Показатель степени в степенном законе горения топлива₈ принять равным 0,5.

Ответ: внутренняя, т.е. пустотная тяга P_n увеличится на 21%, значение пустотного удельного импульса $I_{уп}$ не изменится.

РЕШЕНИЕ: Раскрытие взаимосвязей между понятиями в процессе действий по типовому алгоритму с элементами эвристического типа: базовые расчетные выражения для пустотной тяги₉ $P_n = p_k F_{кр} K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, пустотного удельного импульса $I_{уп} = \beta K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, и основного уравнения внутренней баллистики₁₀ $p_k = (Z F_{тп})^{1/(1-\nu)}$ с учетом неизменности значений

$F_{кр}$, $K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, Z , $\beta = \text{idem}$ и принимаемого для оценки $\nu \approx 0,5$ давления в камере p_k примерно в $(1,1)^2 = 1,21$ раза, т.е. на 21% с таким же увеличением пустотной тяги при сохранении значения пустотного удельного импульса.

В задании, ответе и решении совершаются действия с 10 АДИ. Фактор сложности $\Phi = \ln 10! = 15,1$.

8. Как изменятся основные параметры (тяга₁ и удельный импульс₂ в пустоте₃) идеального теплового ракетного двигателя₄ с подогревом рабочего тела радиоизотопным источником теплоты₅, если температура торможения₆ рабочего тела с течением времени₇ снизилась в 1,21 раза, а система регулирования поддерживает расход рабочего тела постоянным?

Ответ: значение пустотного удельного импульса $I_{уп}$ и пустотной тяги P_n уменьшится в 1,1 раза, т.е. на 9,1%.

РЕШЕНИЕ: Раскрытие взаимосвязей между понятиями в процессе действий по типовому алгоритму с элементами эвристического типа.

базовые расчетные выражения для пустотной тяги₉ $P_n = p_k F_{кр} K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, пустотного удельного импульса₁₀ $I_{уп} = \beta K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, и уравнения постоянства расхода рабочего тела₁₁ $m = p_k F_{кр} / \beta = \text{const}$, где $\beta = (RT)^{0,5}/A(k)$, с учетом неизменности значений $F_{кр}$, F_a , $K_{тп}(F_a/F_{кр}, k)$, R , $k = \text{idem}$ и снижения температуры в 1,21 раза дают уменьшение

расходного комплекса β и пустотного удельного импульса в 1,1 раза, а также давления в камере p_k и тяги в 1,1 раза.

В задании, ответе и решении совершаются действия с 11 АДИ. Фактор сложности $\Phi = \ln 11! = 17,5$.

9. Определите значения расходов гидразина и азотного тетраоксида, если коэффициент избытка окислителя равен 0,974 при расходе топлива равном 10 кг/с.

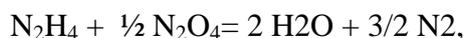
Ответ: расход гидразина 4,166 кг/с; расход азотного тетраоксида 5,833 кг/с.

РЕШЕНИЕ: Раскрытие взаимосвязей между понятиями и количественная оценка соотношений по типовому алгоритму.

Вычислим стехиометрическое (теоретическое) соотношение компонентов или из уравнения баланса валентностей

$$K_{m0} = -\frac{2 * 0 + 4 * 1}{2 * 0 + (-2) * 4} \frac{92}{32} = 1,4375$$

или по стехиометрическому уравнению



откуда следует $K_{m0} = 0,5 (14*2 + 16*4) / (14*2 + 1*4) = 1,4375$

Тогда соотношение компонентов $K_m = \alpha K_{m0} = 0,974 * 1,4375 = 1,4$.

Из соотношений $m_T = m_T + m_O = m_T + K_m m_T = m_T + \alpha K_{m0} m_T$ следует выражение для расчета расхода горючего $m_T = m_T / (1 + K_m) = 10 / (1 + 1,4) = 4,166$ кг/с и для расчета расхода окислителя два эквивалентных выражения $m_O = m_T K_m = 4,166 * 1,4 = 5,833$ кг/с и $m_O = m_T - m_T = 10 - 4,166 = 5,833$ кг/с.

В задании, ответе и решении 10 АДИ. $\Phi = \ln 10! = 15,1$.

10. В установленном на 1-й ступени ракеты-носителя ЖРД с дожиганием ЖГГ работает по двухзонной схеме на водороде и кислороде, причем расход кислорода в 2 раза превышает расход водорода. Оцените массовую долю водяного пара в продуктах газогенерации.

Ответ: Массовое содержание водяного пара в продуктах газогенерации 0,75 или 75%.

РЕШЕНИЕ: Имея в виду высокие давления, характерные для ЖРД первой ступени ракеты-носителя, и относительно низкие значения температуры, свойственные ЖГГ в ЖРД с дожиганием, предположим, что диссоциацией продуктов газогенерации можно пренебречь. Тогда на основе стехиометрического уравнения $H_2 + 1/2 O_2 = H_2O$ для соотношения компонентов $K_m = K_{m0} = 8$ можно записать уравнение, отражающее связь между составами топлива с $K_m = \alpha K_{m0} = 2$, т.е. $\alpha = 0,25$, и продуктов газогенерации



Отсюда следует выражение для массовой доли водяного пара $g_{H_2O} = 18 / (18 + 3 * 2) = 0,75$.

В задании, ответе и решении совершаются действия с 12 АДИ. С учетом избыточности сведений о двухзонной схеме рабочего процесса в ЖГГ значение фактора сложности $\Phi = \ln(12-1)! = \ln 11! = 17,5$.

Приложение 2.

Вариант задания 2-го уровня сложности с графическим интерфейсом

Идеальный ЖРД2 отличается от идеального ЖРД1 только уменьшенными в 2 раза площадями критического и выходного сечений сопла. Двигатели работают на одном и том же топливе при одном и том же давлении окружающей среды. При известной дроссельной характеристике ЖРД1 (см. рис. 1, где $p_{кр1}$ это давление к камере, соответствующее расчетному режиму работы сопла ЖРД1) построить такую же характеристику ЖРД2 на этих же осях координат.

Ответ: См. рис 2, на котором $p_{кр1}=p_{кр2}$ и $p_{к01}=p_{к02}$, значение тяги на расчетном режиме $P_{pp2}=0,5P_{pp1}$, значения тяги при p_k стремится к 0 также $P_{2pk=0}=0,5 P_{1pk=0}$.

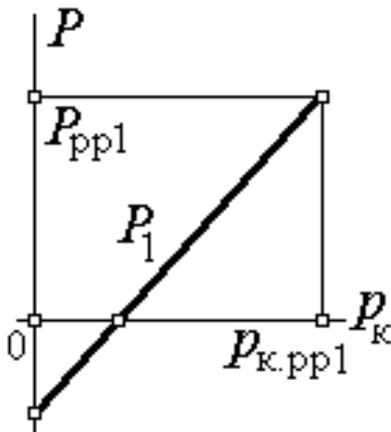


Рис.1 Исходный график

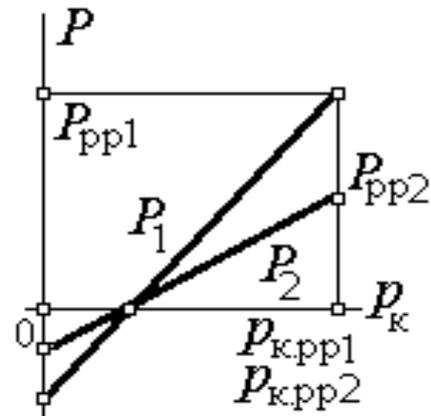


Рис. 2 Итоговый график

Приложение 3.

Вариант задания 3-го уровня сложности с графическим интерфейсом

Два РДТТ с постоянной площадью поверхности горения заряда отличаются только площадями критического и выходного сечений сопла, причем, $F_{кр2}=0,5*F_{кр1}$ и $F_{a2}=0,5*F_{a1}$. На тех же осях координат построить высотные характеристики второго РДТТ, если характеристики первого РДТТ даны (см. рис.1, где графики тяги и удельного импульса для РДТТ1 совпадают) и показатель в степенном законе горения ТРТ $\vartheta=0,5$.

Ответ: Эталонное решение представляет собой уравнения прямых для I_{y2} и P_2 и их построение с обозначением координат характерных точек (см. рис. 2): общей точки нулевой тяги $p_{h02} = 4 p_{h01}$; тяги и удельного импульса в пустоте $P_{п2}=2 P_{п1}$ и соответственно $I_{уп2}= I_{уп1}$; а также равным скорости истечения удельным импульсам $I_{yрр2}=I_{yрр1}=W_a$ при давлении окружающей среды, соответствующем расчетному режиму работы сопла $p_{hрр2} = 4 p_{hрр1}$.

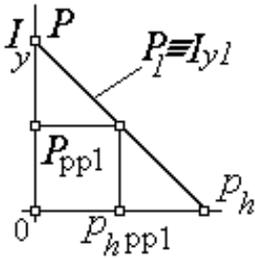


Рис. 1 Исходный график

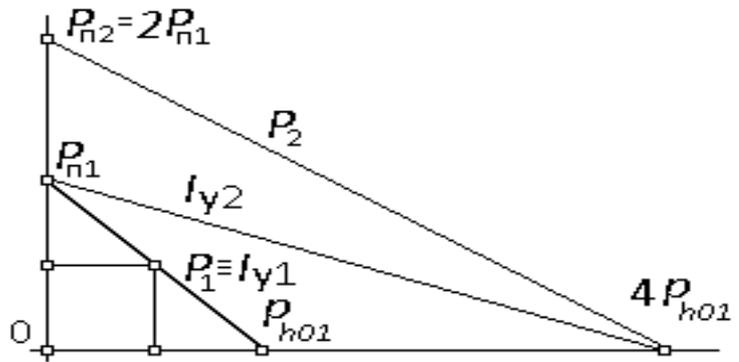


Рис. 2 Итоговый график

Designing Strategy and Competence-targeted Analysis of Assessment and Diagnostic Materials for the Master's Studies Tests

A.A. Dorofeev^{1,*}, N.Ya. Ir'yanov¹

* a.a.dorofeev@bmstu.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: magistracy, entrance examinations, test, checking-diagnostic materials, competence aim of education, designing

The paper describes technique, design process, and examples of assessment and diagnostic materials for the written tests for applicants to be admitted to Master's studies. Their development is based on the objectives of the learning outcomes (LO) gained in the course of bachelor, specialist, and master study programmes. The objective is characterised both by category of acquired knowledge, from the fact-gathering one to the meta-knowledge, and by necessary level of activities, which realise gained reproductive-to-creative knowledge, abilities, and skills, and show desirable human personalities appropriate for these activities, i.e. human's competence.

The paper offers and analyses a task option aimed at revealing competence of heterogeneous test for entrance trials. The test includes problems of three levels, which are different in structural complexity and activity in their solution: from reproduction and interpretation of data to the analysis and synthesis of the new information contents with creative elements. It demands that a future graduate has to possess certain personal qualities, be qualified and psychologically ready for the learning activity with a research component.

Thus the paper gives examples of tasks with text and graphic interfaces and their benchmark (model) solutions. The tasks are formulated on a case technique as a problem situation in the substantive area of the future professional activity. The maximum score assessment is based both on the number of attributive didactic points and on the necessary level of activity. To assess the fulfilled tasks the paper offers a technique that takes into consideration how the result is approximated to the benchmark solution.

In developing a substantive ground of the test tasks the paper proposes to use the programmes of propaedeutic disciplines and a local issue of the coursework design. As to drawing up tasks and control of their fulfilment the offer is to involve the faculty staff in engineering disciplines who are experts and members both of commissions in the fields concerned and of Admission Committee of the University.

References

1. Dorofeev A.A., Ir'yanov N.Ya. Test-and-Assessment Materials Structure and Content for Graduate's Entrance Examinations at Higher Education Institution Using Its Educational Standards. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 11, pp. 817-826. DOI: [10.7463/1114.0740501](https://doi.org/10.7463/1114.0740501) (in Russian).
2. Tatur Yu.G. *Obrazovatel'nyy protsess v vuze. Metodologiya i opyt proektirovaniya* [The educational process at the University. Methodology and design experience]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005. 224 p. (Ser. *Pedagogika v tekhnicheskoy universitete* [Pedagogy at the Technical University]). (in Russian).
3. Tsvetkov Yu.B. Special Aspects of Learning Objectives Design for Disciplines in Engineering Education. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2015, no. 3, pp. 331-344. DOI: [10.7463/0315.0761285](https://doi.org/10.7463/0315.0761285) (in Russian).
4. Avanesov V.S. *Kompozitsiya testovykh zadaniy* [The composition of the test tasks]. Moscow, Testing center Publ., 2002. 240 p. (in Russian).
5. Temnyatkina O.V., Feofilova E.M. Evaluation of competency results of an academic discipline and interdisciplinary course in professional educational organizations. *Kontsept = Koncept*, 2014, no. 9, art. no. 14244. Available at: <http://e-koncept.ru/2014/14244.htm> , accessed 01.04.2015. (in Russian).
6. Bepal'ko V.P. *Slagaemye pedagogicheskoy tekhnologii* [Summands of pedagogical technology]. Moscow, Pedagogika Publ., 1989. 192 p. (in Russian).
7. Dobryakov A.A. *Psikhologo-pedagogicheskie osnovy podgotovki elitnykh spetsialistov kak tvorcheskikh lichnostey (soderzhatel'nye elementy sub"ekt-ob"ektnoy pedagogicheskoy tekhnologii)* [Psycho-pedagogical bases of preparation of elite specialists as creative individuals (substantive elements of subject-object pedagogical technology)]. Moscow, Logos Publ., 2001. 334 p. (in Russian).
8. Dobryakov A.A., Pechnikov V.P. *Vysshie psikhicheskie funktsii i funktsional'naya struktura gumanizirovannogo obrazovatel'nogo standarta (modeli, metodologiya, primery)* [Higher mental functions and functional structure of the humanized educational standard (model, methodology, examples)]. Moscow, Logos Publ., 2001. 245 p. (in Russian).
9. Dorofeev A.A. *Osnovy teorii teplovykh raketnykh dvigateley. Teoriya, raschet i proektirovanie* [Fundamentals of the theory of thermal rocket engines. Theory, calculation and design]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 571 p. (in Russian).
10. Berezanskaya E.L., Burkal'tsev V.A., Volkov V.T., Dorofeev A.A., Kudryavtsev V.M., Leont'ev N.I., Sukhov A.V. *Sbornik zadach i voprosov po osnovam teorii i rascheta raketnykh dvigateley* [Collection of problems and questions on the basics of the theory and calculation of rocket engines]. Moscow, TsNIINTI KPK Publ., 1995. 228 p. (in Russian).