

**В. П. Некрасов**

### **О формировании и диагностике когнитивных компетенций студентов высшей школы**

Предлагается алгоритм создания инновационного учебного курса для математических дисциплин. В его основе лежит структура, отражающая как логическое, так и метакогнитивное взаимодействие различных компонентов математического курса. Рассмотрен базисный понятийный аппарат (метакогнитивные инварианты), позволяющий описать роль внутри- и межпредметных понятийных связей как инструмента для формирования когнитивных компетенций студентов вуза. Траектория изложения материала, учитывающая понятийную близость, позволяет «сшивать» логически удаленные части курса, создавая у обучаемых более отчетливое представление об интегративном характере отдельных его элементов. Это способствует пониманию студентами идейной и методологической целостности курса, а преподавателю позволяет глубже продемонстрировать взаимосвязь отдельных составляющих дисциплины.

Для диагностики сформированности когнитивных компетенций предлагается использовать тесты учебной деятельности (обучающие тесты), дополненные рефлексивным компонентом деятельности обучаемого. Приводится фрагмент теста по упрощению логических выражений с помощью эквивалентных преобразований. Представленный в конце алгоритма граф имеет достаточное разнообразие траекторий прохождения данного теста. Таким образом, выполнение обучающего теста дает возможность диагностировать уровень сформированности когнитивных компетенций студента, который определяется на основании конкретно выбранной им траектории прохождения.

Ключевые слова: когнитивные компетенции, метапредметные умения, инновационная модель, метакогнитивные инварианты, понятийная связь, обучающий тест, рефлексивный компонент.

**V. P. Nekrasov**

### **On Formation and Diagnostics of Higher School Students' Cognitive Competences**

Here is proposed an algorithm of the Course of Mathematics. The Course is based on the structure reflecting interaction of its logical and various metacognitive components. The article considered a basic concept apparatus, i. e. metacognitive invariants, enabling to describe a role of the inner-subject and inter-subject links as an instrument to form higher school students' cognitive competences. The trajectory of the material presentation considering concepts relationship enables to «joint» logically remote parts of the course to ensure that students develop more precise knowledge of its separate elements of the integrative character. The approach facilitates the students to understand the ideal and methodological integrity of the course and the teachers to demonstrate in depth relationship of the discipline separate elements.

To diagnose the level of cognitive competences development we propose to use academic tests (teaching tests) supplemented with the reflexive component of the students' activity. The fragment of the test to simplify logical expressions by means of equivalent transformations is presented. The graph proposed at the algorithm end has got a sufficient variety of the test trajectory completion. Thus, the teaching test fulfilment enables to diagnose the level of cognitive competences development of the student which is determined on the base of the certain chosen trajectory.

Keywords: cognitive competences, metasubject skills, an innovative model, metacognitive invariant, concept link, an academic test, a reflexive component.

Сегодня, благодаря усилиям большого числа исследователей, можно считать решенной на общетеоретическом уровне проблему компетентного подхода в российском образовании. Но, как справедливо указывает И. А. Зимняя [2], общепризнанный в настоящее время ФГОС-3 требует у выпускника вуза формирования системы компетенций, которые являются по своей сути социально-личностными. Это информационные, общекультурные, коммуникативные, социальные компетенции и т. д.

Что же касается когнитивной компетентности, которая может быть определена как *готовность*

*выпускника к принятию эффективных решений в различных производственных ситуациях с опорой на полученные в вузе знания и умения*, то это, без сомнения, основная компетентность выпускника, без которой он просто бесполезен на предприятии. А вот с ее формированием дело обстоит не так хорошо.

Основное внимание к сегодняшнему дню оказалось сосредоточенным на воспитании готовности к решению продуктивных и творческих задач в рамках одного предмета, а нередко даже в пределах одной изучаемой темы. В качестве «механизма» формирования когнитивных компетен-

ций, как правило, рассматривается расширение спектра учебных задач, с тем чтобы заставить студента применить полученные им знания и умения в нестандартных ситуациях. Такой механизм можно охарактеризовать как *локальный* уровень овладения когнитивной компетенцией – воспитываемая готовность применить полученные знания ограничена изучаемым в данный момент материалом. В то же время ключевые компетенции, к которым относится и когнитивная компетенция, уже по самим своим формулировкам являются *надпредметными* и даже *надпрофессиональными*.

Поэтому в ее формировании большую роль должны играть метапредметные знания и умения. В современной педагогике к ним относят такие знания и умения, которые, будучи формируемыми в рамках различных дисциплин, имеют отчетливо выраженные общие характеристики, задавая обобщенные способы действия при решении тех или иных задач. Метапредметные умения проявляют себя в умениях видеть общность в тех или иных явлениях (в том числе, в применяемых методах), в единстве схем рассуждений, в аргументированном переносе свойств одних объектов на другие, в экстраполяции по аналогии и т. п.

Вместе с тем в компетентностной парадигме высшего профессионального образования на собственно *механизм формирования* метапредметных знаний и умений внимание практически не обращается. Это же можно сказать о среднем и о заключительном звеньях школьного образования.

Таким образом, устранение этих ограничений традиционной педагогической технологии, на наш взгляд, невозможно без построения инновационной модели учебного курса, опирающейся на освоение когнитивных структур метапредметного характера. Чтобы заложить фундамент такой модели, необходимо охарактеризовать эти структуры как категорию. Мы определили их как категорию понятийных связей, то есть то, что может быть выражено как инвариант в различных понятиях, подходах, методах решений и т. п.

Под инвариантом понимают такую характеристику объекта, процесса или явления, которая остается неизменной при выполнении той или иной группы действий. В нашем случае речь идет об универсальных логических действиях, осуществляемых человеком в когнитивном процессе. Поэтому для таких инвариантов нами выбрано название *метакогнитивные инварианты*. Говоря другими словами, метакогнитивные инварианты – это те характеристики когнитивных процессов, которые являются общими (неизменными) при выполнении мыслительных операций.

Нами было выделено восемь видов метакогнитивных инвариантов [1,3 ÷ 5,7]. На наш взгляд важнейшими из них являются изоморфизм и языковое представление.

1. *Изоморфизм* – это подобие; между изоморфными понятиями должно существовать взаимно-однозначное соответствие, сохраняющее структурные связи.

Классический пример из дискретной математики – это изоморфизм между теоретико-множественными и логическими операциями.

Сопоставим множествам логические переменные. Теоретико-множественным операциям «дополнение до универсума», «пересечение» и «объединение» сопоставим логические операции «отрицание», «конъюнкция» и «дизъюнкция». Пустому множеству « $\square$ » сопоставим логическую константу «0», универсальному множеству «U» – логическую константу «1». Получим равносильности алгебры логики.

Например, свойства дополнения, нуля и единицы на языке теории множеств имеют вид:

$$A \cup \bar{A} = U, A \cap \bar{A} = \square, A \cup \square = A, A \cap \square = \square,$$

$A \cup U = U, A \cap U = A$ . Эти же свойства на языке алгебры логики:

$$x \vee \bar{x} = 1, x \cdot \bar{x} = 0, x \vee 0 = x, x \cdot 0 = 0, x \vee 1 = 1, x \cdot 1 = x.$$

2. *Языковое представление* – это язык изложения понятия: текст, рисунок, таблица, граф.

Действительно, очень важен язык, на котором мы формулируем задание студенту. Важность применения этого метакогнитивного инварианта характеризует следующий пример.

Упростим с помощью эквивалентных преобразований логическое выражение:

$$\begin{aligned} f &= \overline{\overline{x} \cdot (y \vee z)} \cdot \overline{(x \vee \overline{y \vee z})} = \overline{(y \vee z)} \cdot \overline{(x \cdot x \vee \overline{\overline{y \vee z}})} = \overline{(y \vee z)} \cdot \overline{(0 \vee \overline{\overline{y \vee z}})} = \\ &= \overline{(y \vee z)} \cdot \overline{(x \cdot \overline{\overline{y \vee z}})} = \overline{(y \vee z)} \cdot \overline{x \cdot \overline{(y \vee z)}} = \overline{x \cdot (y \vee z)} \cdot \overline{(y \vee z)} = \overline{x \cdot (y \cdot \overline{y \vee z})} = \\ &= \overline{x \cdot (0 \vee z)} = \overline{x \cdot z} = \overline{x \vee \overline{z}} = x \vee \overline{z} = g \end{aligned} \tag{1}$$

Выполним преобразования (1) с помощью теоретико-множественных операций. Рассмотрим логические выражения:

$$f = \overline{x \cdot (y \vee z)} \cdot (x \vee \overline{y \vee z}) \text{ и } g = x \vee \overline{z}. \text{ Сопоставим им изоморфные множества:}$$

$$F = \overline{X \cap (Y \cup Z)} \cap (X \cup \overline{Y \cup Z}) \text{ и}$$

$$G = X \cup \overline{Z}.$$

Пусть множества  $U, X, Y, Z$  имеют следующий вид:

$$U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\} X = \{1, 2, 7, 8, 9\}$$

$$Y = \{3, 4, 7, 9, 10\} Z = \{5, 6, 8, 9, 10\}$$

Чтобы понять, почему распределение элементов универсума  $U$  между множествами  $X, Y, Z$  имеет именно такой вид, изменим язык представления множеств. Представим множества в виде кругов Эйлера. Пусть элементами множества  $A$  являются **точки круга**, а элементами универсального множества  $U$  – **точки прямоугольника** (рис. 1).

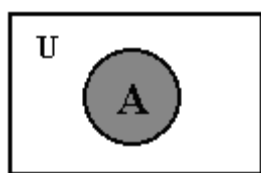


Рис. 1. Множество  $A$

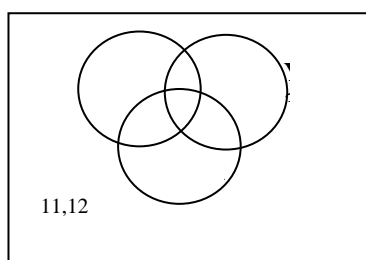


Рис. 2. Множества  $X, Y, Z$

Рассмотрим рис. 2. Из него становится понятным распределение элементов универсума  $U$  между множествами  $X, Y, Z$ . Действительно, элементы распределены по множествам таким образом, чтобы в каждой замкнутой области было хотя бы по одному элементу.

Используя теоретико-множественные операции, вычислим множества  $F$  и  $G$ :

$$\overline{X} = \{3, 4, 5, 6, 10, 11, 12\}; \overline{Y} = \{1, 2, 5, 6, 8, 11, 12\};$$

$$\overline{Z} = \{1, 2, 3, 4, 7, 11, 12\}; Y \cup Z = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\};$$

$$X \cup \overline{Y \cup Z} = \{1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\};$$

$$\overline{X} \cap (Y \cup Z) = \{3, 4, 5, 6, 10\} \overline{X} \cap (Y \cup Z) \cap (X \cup \overline{Y \cup Z}) = \{5, 6, 10\}$$

$$F = \overline{X} \cap (Y \cup Z) \cap (X \cup \overline{Y \cup Z}) = \{1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12\};$$

$$G = X \cup \overline{Z} = \{1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12\}.$$

Множества  $F$  и  $G$  совпадают.

Таким образом, использование различного языка для решения задач на множествах и задач алгебры логики позволяет студентам глубже усвоить эти разделы дискретной математики.

Автору при чтении раздела «Множества» курса по дискретной математике достаточно было уделить изоморфизму теоретико-множественных и логических операций нескольких минут. Практика показала, что при этом студенты гораздо лучше воспринимают равносильности алгебры логики.

Таким образом, суть нашего подхода к построению инновационного учебного курса состоит в том, что на логическую структуру курса накладывается топологическая надстройка из понятийных связей, которые определяют метакогнитивные инварианты.

Чтение любого математического, да и технического, курса связано с линейным характером его изложения. Введение понятийных связей позволяет устранить противоречие между линейным характером изложения курса и интегративностью отдельных его элементов. Преподавателю это позволяет глубже понять взаимосвязь отдельных составляющих дисциплины, студентам – осознать идейную целостность курса.

В итоге осваиваемый студентами материал будет восприниматься не мозаично (как набор отдельных курсов), а целостно, что позволяет воспитать специалиста, умеющего решать производственно-технические задачи.

Не менее важными, чем построение инновационного учебного курса, являются вопросы диагностики сформированности у студентов когнитивных компетенций: грубо говоря – как определить, насколько студент научился мыслить. И здесь, на наш взгляд, в качестве диагностического инструментария целесообразно использовать технологию обучающих тестов [6].

Суть данной технологии состоит в том, что, в отличие от обычного теста, где студенту предлагают выбрать ответ, в обучающих тестах ему на каждом шаге предлагается выбрать одно дей-

ствие из нескольких предлагаемых альтернатив. Каждый раз действие оценивается как продуктивное, то есть ведущее к решению поставленной задачи, или как тупиковое. В итоге из этих шагов складывается решение, то есть явным результатом для студента всегда является решенная задача.

Принципиальной характеристикой обучающего теста является наличие разных путей решения одной и той же задачи. Эти пути могут быть разной длины, в зависимости от выбора теоретического знания, которое студент будет использовать для ее решения, от степени свернутости его знаний и умений и т. д. Важно, что выбор студентом действия на том или ином шаге выполнения обучающего теста является проекцией соответствующего метакогнитивного инварианта, значит, прослеживая выбранную учащимся траекторию решения задачи, можно диагностировать, какие метакогнитивные компетенции уже освоены студентами, а какие – нет.

Принципиальным развитием технологии обучающих тестов в нашей работе является включение пунктов, позволяющих студентам осуществить рефлексию выполненных ими действий. То есть студенты сами формулируют, какого типа задачи они научились решать и в чем состоит метод решения. Дело в том, что формирование компетентности не может быть полноценным, если у студента выполняемая им деятельность не отрефлексирована как общезначимая, то есть применимая в различных исходных ситуациях.

Чтобы продемонстрировать данный подход, приведем конкретный пример использования технологии обучающих тестов на практическом занятии по математической логике. Основным объектом диагностики является метакогнитивный инвариант, который представляет собой узел-сток, то есть предлагается задача, которая может быть решена различными методами.

*Пример.* Упростить логическое выражение:  
 $f = q \cdot (c \vee d) \cdot (p \vee q \vee t)$ .

*Комментарий.* Когда студенту предлагается данный тест, на практических занятиях уже отработаны методы эквивалентных преобразований

с помощью типовых равносильностей алгебры логики.

Студенту предлагается выбрать один из предлагаемых ответов:

1. *Выбрать одно из направлений:*

D1. Умножить  $q$  на скобку  $(c \vee d)$ . Перейти к п. 2.

D2. Умножить  $q$  на скобку  $(p \vee q \vee t)$ . Перейти к п. 3.

D3. Перемножить две скобки  $(c \vee d)$  и  $(p \vee q \vee t)$ . Перейти к п. 4.

2. *Диагностика.* Вы двигаетесь в тупиковом направлении. Полученное для  $f = (q \cdot c \vee q \cdot d) \cdot (p \vee q \vee t)$  выражение является более громоздким для дальнейшего упрощения, чем исходное. Проанализируйте, почему это произошло, и вернитесь к п. 1.

3. *Диагностика.* Вы двигаетесь в тупиковом направлении. Полученное для

$$f = q \cdot (c \cdot p \vee c \cdot q \vee c \cdot t \vee d \cdot p \vee d \cdot q \vee d \cdot t)$$

выражение является более громоздким для дальнейшего упрощения, чем исходное. Проанализируйте, почему это произошло, и вернитесь к п. 1.

*Комментарий.* Выбор направлений D1 или D3 свидетельствует о том, что студент не понимает предназначения основных законов алгебры логики. В выражениях  $q$  и  $(c \vee d)$  или  $(c \vee d)$  и  $(p \vee q \vee t)$  все переменные разные, поэтому их произведение может только усложнить логическое выражение.

4. *Диагностика.* Вы двигаетесь в правильном направлении. Проанализируйте полученное выражение для  $f = (c \vee d) \cdot (q \cdot p \vee q \cdot q \vee q \cdot t)$  и выберите одно из направлений:

D4. Вынести  $q$  за скобку. Перейти к п. 5.

D5. Применить равносильность  $q \cdot p = p \cdot q$ . Перейти к п. 6.

D6. Применить равносильность  $q \cdot q = q$ . Перейти к п. 7 и т. д.

*Комментарий.* Выбор направления D2 говорит о том, что студент понимает равносильности алгебры логики и разбирается в сути эквивалентных преобразований.

После выбора п. 3 студенту выдается вышеприведенная диагностика и предлагается выбрать одно из трех новых направлений.

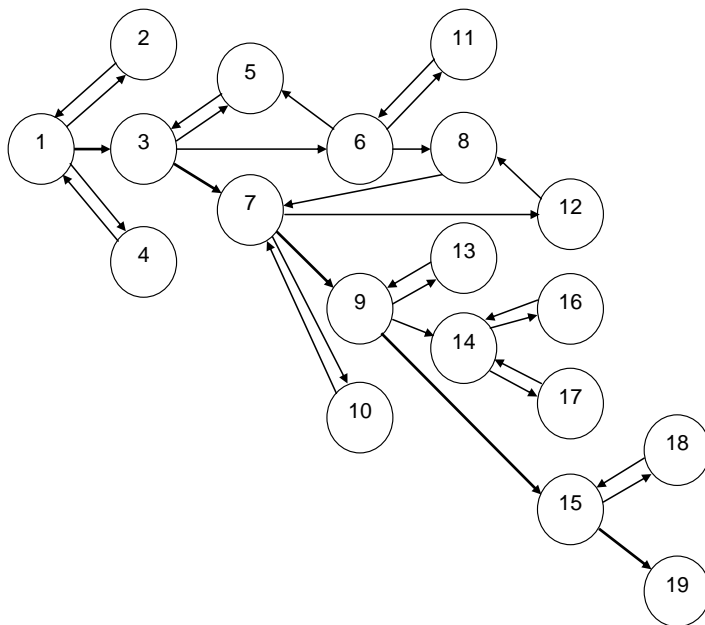


Рис. 3. Структура обучающего теста

На рис. 3 представлена полная структура обучающего теста, позволяющая в целом оценить его потенциал с точки зрения диагностических возможностей. Каждая вершина графа соответствует некоторому логическому выражению. Оптимальная траектория выделена жирным цветом.

Проведенный в Уральском техническом институте связи и информатики педагогический эксперимент по использованию методики метакогнитивных инвариантов для преподавания дискретной математики показал устойчивое повышение среднего балла по предмету, высокий процент студентов, сдавших экзамен с первого раза, более чем 10 %-е превышение хороших и отличных оценок, по сравнению с контрольной группой. Это свидетельствует о положительном влиянии данной методики на сохранение контингента и о большей подготовленности студентов к дальнейшему обучению.

Для диагностики у студентов уровня их развития предлагается использовать технологию обучающих тестов, дополненную рефлексивным компонентом. Проведенный в нескольких вузах Екатеринбурга педагогический эксперимент для

студентов IT-специальностей по упрощению логических выражений с помощью эквивалентных преобразований показал реальное соответствие длины выбранной траектории уровню их подготовки.

#### Библиографический список

1. Гейн, А. Г., Некрасов, В. П. Когнитивные компетенции в инновационных моделях математических курсов [Текст] / А. Г. Гейн, В. П. Некрасов // Екатеринбург : УрФУ, 2014. – 108 с.
2. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции как результативно-целевая основа компетентного подхода в образовании [Текст] / И. А. Зимняя. – М., 2004.
3. Некрасов, В. П. О механизме формирования когнитивной компетенции учебного курса [Текст] / В. П. Некрасов // Сибирский педагогический журнал. – Новосибирск : НГПУ. – 2014. – № 1. – С. 82–86.
4. Некрасов, В. П. О метакогнитивных вариантах при формировании учебных курсов математических дисциплин [Текст] / В. П. Некрасов // Образование и саморазвитие. – Казань : КФУ. – 2014. – № 1 (39). – С. 164–169.
5. Некрасов, В. П. Языковое представление как метакогнитивный инвариант при создании

инновационного учебного курса [Текст] / В. П. Некрасов // Сибирский педагогический журнал. – Новосибирск : НГПУ. – 2014. – № 3. – С. 34–39.

6. Сеногноева, Н. А. Технология конструирования тестов учебной деятельности как средства оценивания результатов обучения [Текст] : дис. ... д-ра пед. наук / Н. А. Сеногноева, 2006.

7. Gein A. G., Nekrasov V. P. Metacognitive Invariants as Psychological-Pedagogical Factors of Training [Text] / A. G. Gein, V. P. Nekrasov // Universal Journal of Educational Research, Vol. 1, No 2 (2013), pp. 128–132.

#### **Bibliograficheskiy spisok**

1. Gejn, A. G., Nekrasov, V. P. Kognitivnye kompetencii v innovacionnyh modeljah matematicheskikh kursov [Tekst] / A. G. Gejn, V. P. Nekrasov // Ekaterinburg : UrFU, 2014. – 108 s.

2. Zimnjaja, I. A. Kljuchevye kompetencii kak rezul'tativno-celevaja osnova kompetentnostnogo podhoda v obrazovanii [Tekst] / I. A. Zimnjaja. – М., 2004.

3. Nekrasov, V. P. O mehanizme formirovanija kognitivnoj kompetencii uchebnogo kursa [Tekst] / V. P. Nekrasov // Sibirskij pedagogicheskij zhurnal. – Novosibirsk : NGPU. – 2014. – № 1. – S. 82–86.

4. Nekrasov, V. P. O metakognitivnyh invariantah pri formirovanii uchebnyh kursov matematicheskikh disciplin [Tekst] / V. P. Nekrasov // Obrazovanie i samorazvitie. – Kazan' : KFU. – 2014. – № 1 (39). – С. 164–169.

5. Nekrasov, V. P. Jazykovoe predstavlenie kak metakognitivnyj invariant pri sozdanii innovacionnogo uchebnogo kursa [Tekst] / V. P. Nekrasov // Sibirskij pedagogicheskij zhurnal. – Novosibirsk : NGPU. – 2014. – № 3. – S. 34–39.

6. Senognoeva, N. A. Tehnologija konstruirovaniya testov uchebnoj dejatel'nosti kak sredstva ocenivaniya rezul'tatov obuchenija [Tekst] : dis. ... d-ra ped. nauk / N. A. Senognoeva, 2006.

7. Gein A. G., Nekrasov V. P. Metacognitive Invariants as Psychological-Pedagogical Factors of Training [Text] / A. G. Gein, V. P. Nekrasov // Universal Journal of Educational Research, Vol. 1, No 2 (2013), pp. 128–132.