

Как следует из формул (16) и (17), при числе ступеней $n = 4$ полный расход электроэнергии $\mathcal{E}$ возрастает в $4^2 = 16$ раз, а удельный расход – в 4 раза. При $n = 12$ полный расход электроэнергии $\mathcal{E}$ возрастает в $12^2 = 144$ раза, а удельный расход – в 12 раз.

Таким образом, если при небольшом числе ступеней затраты на электроэнергию могут быть сравнительно малыми, то с увеличением n они резко возрастают и не компенсируются уменьшением затрат на топливо.

Срок окупаемости установки разделения нефтешлама зависит главным образом от капиталовложений, которые нужно свести к минимуму в расчете на единицу производительности при сохранении надежности работы оборудования. Для определения оптимального числа ступеней установки можно рекомендовать формулу:

$$n_{\text{опт}} \approx n_1 = (0,8/\kappa)^{0,44}, \quad (18)$$

где κ – отношение стоимости выпарной ступени к стоимости остальных элементов в одноступенчатой установке. Число $n_{\text{опт}}$ равняется числу n_1 , округленному до целого числа.

В таблице показана зависимость оптимального числа ступеней $n_{\text{опт}}$ от величины κ , рассчитанная по формуле (18).

Из таблицы следует, что чем меньше величина κ , тем больше оптимальное число ступеней, соответствующих минимуму удельных капитальных затрат.

Таблица

Зависимость $n_{\text{опт}}$ от величины κ

κ	0,01	0,02	0,04	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$n_{\text{опт}}$	7	5	4	3	3	2	2	1	1

Выводы.

Предложена принципиальная тепловая схема многоступенчатой установки по разделению нефтешлама. Установлено влияние числа ступеней на производительность установки, на удельный расход топлива и электроэнергии, и на капиталовложения. Получена формула для определения оптимального числа ступеней, при котором обеспечиваются минимальные удельные капиталовложения и минимальный срок окупаемости установки.

Литература

1. Исаченко, В. Л. Теплопередача / [В. Л. Исаченко и др.]. – М., 1981.
2. Лебедев, П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки / П. Д. Лебедев. – М., 1972.
3. Лукин, С. В. Тепловой расчет установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов / С. В. Лукин, Н. Н. Синицын, А. Н. Сурикова // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – №4(65). – С. 33–37.

УДК 004.04:004.822

А. В. Макаров, К. В. Макаров
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

МЕТОД И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СТЕПЕНИ СЕМАНТИКО-ЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ УРОВНЯ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

В статье приводится описание разработки метода числовой оценки степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня подготовленности учащихся, а также разработки алгоритмов выделения и обработки нитей контрольных заданий из структуры контрольно-измерительного материала и расчета значения семантико-логической связности для каждой нити контрольных заданий. Проводится анализ применимости разработанных метода и алгоритмов, на основе которого делается вывод о практической значимости нового аналитического показателя процедуры диагностики уровня усвоения учебного материала.

Информационно-образовательные системы, оценка степени семантико-логической связности, результаты диагностики уровня подготовленности учащегося, семантико-логические взаимосвязи.

The paper describes the development of a numerical method of assessment of semantic and logical connectivity of diagnostic results of the level of students' preparedness, as well as the development of the algorithm of selection and processing threads of control tasks from the structure of test material and the algorithm of calculating the semantic and logical consistency for each thread of testing tasks. The applicability of the methods and algorithms is analyzed; the conclusion about the practical significance of the new analytical indicator of the diagnostic of the level of retention of auditory material is made, based on this analysis.

Information and education system, assessment of semantic-logical consistency of the test results of students' preparedness, semantic and logical relationships.

Введение.

Сегодня актуальность разработки и совершенствования методов и алгоритмов получения и обработки информации для задач управления процессом обучения определяется: с одной стороны, расширяющимися возможностями полноты формализации и анализа учебной информации, с другой – требованиями индивидуализации процесса обучения, переноса задач принятия решений с человека на информационную систему. Отличительной чертой любой информационной системы управления процессом обучения является необходимость мониторинга текущего состояния объекта управления, а также наиболее полного учета человеческого фактора, что выражается в активном влиянии управляемого объекта на процесс управления. В этой связи становится ясно, что результаты анализа состояния объекта управления есть одна из основ управления, а от полноты аналитических показателей и степени их достоверности напрямую зависит эффективность управления процессом обучения.

В рамках информационно-образовательных систем определение состояния объекта управления осуществляется посредством процедур диагностики уровня предметной подготовленности обучаемого. В работе [5] предлагаются метод и алгоритм диагностики уровня усвоения учебного материала на основе учета семантико-логических взаимосвязей контрольных заданий. Основной идеей метода является расширение структуры контрольно-измерительного материала путем добавления дополнительного информационного слоя, содержащего семантико-логические взаимосвязи контрольных заданий (рис. 1).

Добавление дополнительного информационного слоя, содержащего смысловые взаимосвязи контрольных заданий, обеспечило возможность проведения анализа результатов процедуры диагностики, позволяющего получить новые числовые показатели предметной подготовленности обучаемого.

В настоящее время анализ результатов адаптивных процедур диагностики уровня предметной подготовки обучаемого, как наиболее перспективной ветви развития педагогического тестирования, согласно теории адаптивных педагогических измерений (IRT) сводится к выполнению статистической обработки данных о правильности решения тестируемым контрольных заданий вне зависимости от структуры контрольно-измерительного материала. На этапе обработки результатов диагностики выполняются следующие операции.

1. Выбор IRT-модели, устанавливающей связь между значениями латентного параметра θ_i , представляющего собой уровень подготовленности i -го ученика, и значениями латентного параметра β_j , характеризующего трудность j -го контрольного задания; $i \in [1 : n]$, $j \in [1 : m]$. Указанную связь определяет функция $P(\theta_i, \beta_j)$, представляющая собой оценку вероятности правильного ответа ученика в зависимости от значений параметров θ_i и β_j [4].

2. Шкалирование тестовых результатов, иными словами, переход от собственно измерений в дихотомических и порядковых шкалах в линейные измерения.

3. Определение для каждого из обучаемых целевого латентного параметра θ .

В общем виде методы адаптивной диагностики направлены на количественное измерение латентной величины предметной подготовленности обучаемого. Однако помимо определения текущего уровня изучения учебного материала обучаемым, выражаемого в скалярной величине (в соответствии с IRT эта величина измеряется в логитах), необходимо знать степень соответствия текущего уровня целям процесса обучения. Как правило, статически заданные диапазоны трактовки измеренных уровней предметной подготовленности обучаемых не позволяют в полной мере соответствовать специфике учебного материала и снижают степень адаптации процесса обучения.

Таким образом, требуется разработка новых методов и алгоритмов анализа результатов диагностики уровня усвоения учебного материала, направленных на получение дополнительного числового параметра оценки текущего уровня предметной подготовленности обучаемого. Целью получения подобного параметра является использования его в качестве адаптивного числового ориентира в процессе формирования и корректировки индивидуальной траектории обучения.

Основная часть.

Описание разрабатываемых метода и алгоритмов. В настоящей статье на основе предлагаемого в работе [5] подхода структурирования контрольно-измерительного материала рассматривается разработка метода и на его основе алгоритма расчета степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня усвоения учебного материала. Установление смысловых взаимосвязей между

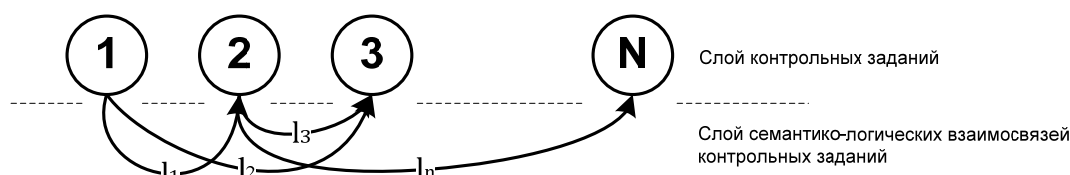


Рис. 1. Двухуровневая структура контрольно-измерительного материала

контрольными заданиями на этапе формирования контрольно-измерительного материала позволило при анализе результатов диагностики предметной подготовленности обучаемого численно оценивать структурную семантико-логическую составляющую усвоенного обучаемым учебного материала. Исходя из этого, ключевой идеей метода и алгоритма, описываемых в настоящей работе, является выделение смысловых нитей контрольных заданий с тем, чтобы численно оценить степень семантико-логической связности результатов диагностики предметной подготовленности обучаемого, – эту величину назовем T^* .

Дальнейшее описание разработки метода и алгоритма требует раскрытия ряда понятий и определений, принятых в настоящей статье.

Структура контрольно-измерительного материала представляет собой произвольный взвешенный орграф. Вершина графа соответствует контрольному заданию, а ребро отражает смысловую взаимосвязь между контрольными заданиями; вес ребра l соответствует силе смыслового отношения между контрольными заданиями и может принимать значения $l \in (0 : 1)$. В общем случае при не изменении типа смысловых отношений, принятом по умолчанию в рамках метода как «основывается на», направление взаимосвязи от задания A к заданию B означает – решение задания B основывается на умении обучаемого решать задание A , в степени количественно равно l_{ab} .

Нить (цепочка) контрольных заданий – линейная взаимосвязанная последовательность контрольных заданий, порядок которых определен структурой исходного контрольно-измерительного материала. Нить является производной субструктурой, выделяемой из целостной структуры контрольно-

измерительного материала в соответствии с одним из возможных алгоритмов формирования цепочек контрольных заданий.

На рис. 3 для исходной структуры контрольно-измерительного материала (а) показан фрагмент выделенных нитей контрольных заданий. Разрабатываемый метод расчета степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня усвоения учебного материала удобно изобразить в виде диаграммы, представленной на рис. 4.

Настоящий метод можно условно разделить на пять этапов. Среди них выделяются этапы смежные другим методам, вспомогательные и основные.

1. На первом этапе, являющимся смежным этапом по отношению к процедурам тестирования обучаемых, выполняются задачи формирования контрольно-измерительного материала и последующей диагностики уровня усвоения учебного материала.

2. Второй этап, вспомогательный, включает в себя решение задачи унификации результатов диагностики путем приведения их к единому матричному виду.

3. Третий, основной этап, обеспечивает решение двух ключевых задач: выделение нитей контрольных заданий, их последующую трактовку и вычисление текущих значений параметра. Решение задач на настоящем этапе выполняется посредством проведения совместного семантико-логического анализа структуры контрольно-измерительного материала и результатов диагностики обучаемого.

4. На четвертом, вспомогательном, этапе проводится нормализация полученных значений T^* для каждой из выделенных нитей контрольных заданий, а затем выполняется конечная обработка и агрегация значений T^* .

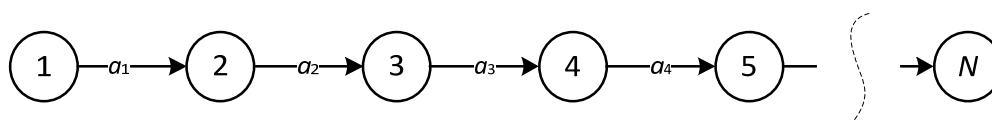


Рис. 2. Общее представление нити контрольных заданий

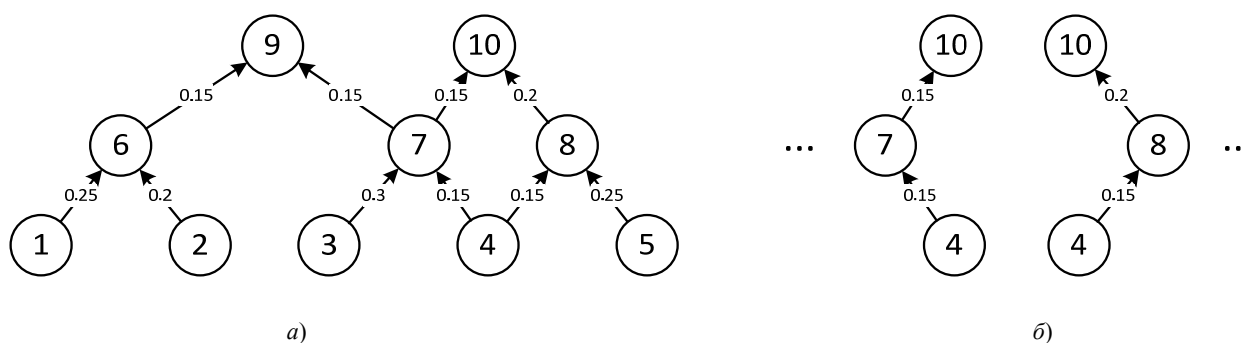


Рис. 3. Исходная структура контрольно-измерительного материала (а) и фрагмент выделенных нитей контрольных заданий (б)

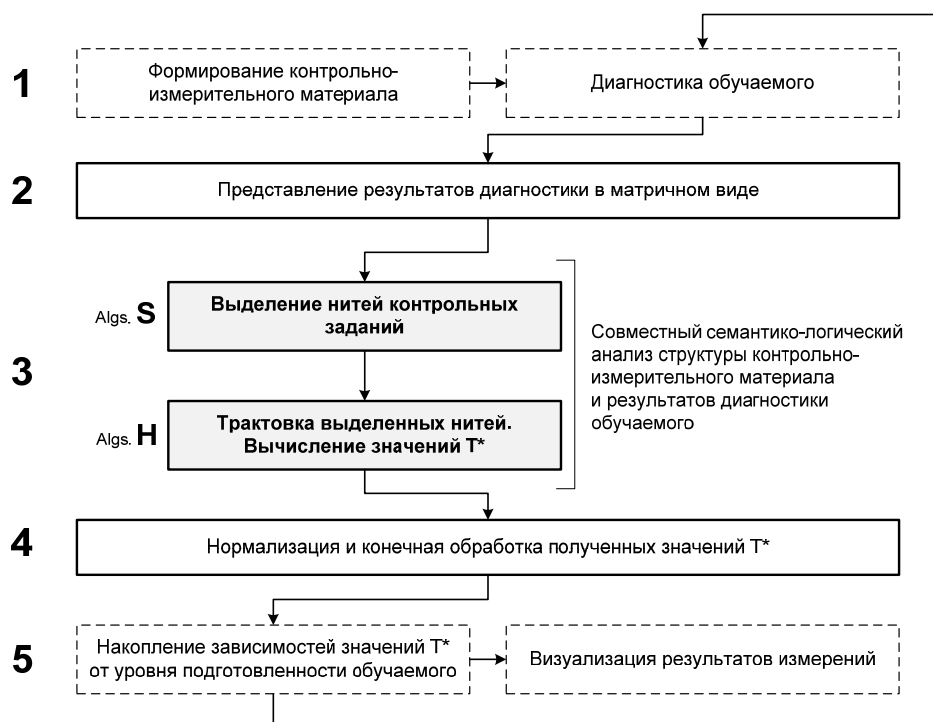


Рис. 4. Метод расчета степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня усвоения учебного материала

5. Пятый, смежный, этап включает в себя обработку данных для последующей визуализации и построения графиков зависимостей уровня предметной подготовленности учащихся от степени семантико-логической связности результатов диагностики для каждого из вариантов контрольно-измерительного материала.

Рассмотрим подробнее каждый из описанных этапов.

Первый этап. Две ключевые задачи решаются на первом этапе:

1) формирование структуры контрольно-измерительного материала посредством установлением педагогом взаимосвязей между контрольными заданиями;

2) проведение процедуры диагностики, фиксация ответов учащихся на предлагаемые им контрольные задания.

По окончании процедуры диагностики в соответствии с методом [5] выполняется расчет количественной оценки уровня предметной подготовленности обучаемого.

Второй этап. Возможности различной практической реализации [3] модели интегративного представления учебной информации [4], [6], лежащей в основе структурирования контрольно-измерительного материала и накопления результатов диагностики, в реальных информационно-образовательных системах требует приведения результатов диагностики к единому виду. Для обеспечения совместного анализа структуры контрольно-измерительного материала и результатов диагностики, учитывая их се-

манτικο-логическую составляющую, удобно воспользоваться матричным представлением.

На рис. 5 изображен пример заполнения матриц UsM и StM, служащих для представления результатов диагностики обучаемых и структуры контрольно-измерительного материала.

UsM – матрица размерностью $n \times m$, где n – количество учащихся, принимавших участие в процедуре диагностики по выбранному контрольно-измерительному материалу, а m – количество заданий в контрольно-измерительном материале. В случае верного решения обучаемым j -го задания $UsM[i, j] = 1$, в противном случае – $UsM[i, j] = 0$.

StM – матрица $m \times m$ (на пересечении строк и столбцов) содержащая информацию о взаимосвязях соответствующих заданий.

Третий этап. На третьем, основном, этапе решаются две ключевые задачи метода: выделение нитей контрольных заданий и осуществление трактовки выделенных нитей для последующего расчета значений T^* для каждой из нитей. Гибкость рассматриваемого метода обеспечена возможностью выбора алгоритмов для решения задач третьего этапа.

В качестве базового алгоритма выделения нитей контрольных заданий предложен следующий алгоритм, основанный на алгоритме поиска в глубину (DFS). Модификация базового алгоритма DFS с метками времени заключается в добавлении записи выделяемых нитей в отдельный массив Treads. Блок-схема алгоритма модифицированной рекурсивной процедуры DFS.mod для нахождения всей совокупности нитей без учета взаимоповторяемости вершин приведена на рис. 6.

U1	U1	...	Un	X	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Out
1	0		1	x1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	1
1	1		0	x2	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	1
1	0		1	x3	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	1
1	1		0	x4	0	0	0	0	0	0	0.15	0.15	0	0	2
1	1		1	x5	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1
1	1		1	x6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	1
1	1		1	x7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0.15	2
0	0		0	x8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1
1	0		0	x9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1		0	x10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				In	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	

а) матрица UsM

б) матрица StM

Рис. 5. Пример матричного представления:

а) правильности ответов на контрольные задания, б) структуры контрольно-измерительного материала

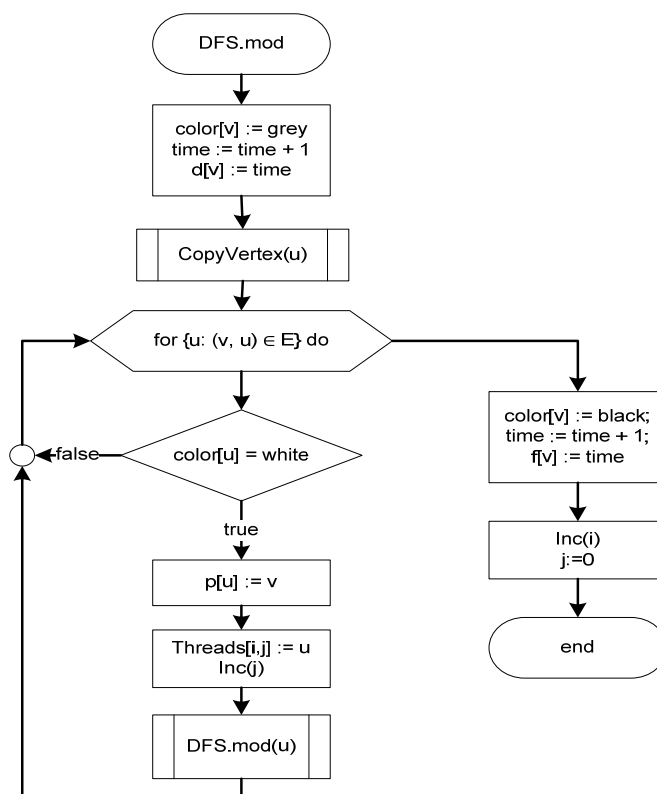


Рис. 6. Блок-схема алгоритма процедуры DFS.mod

Простейший пример – выделение нитей контрольных заданий, отражающий специфику предлагаемого алгоритма, – приведен на рис. 7.

Специфика предлагаемого алгоритма заключается в направленности его на выделение полного числа альтернативных нитей, проходящих через узловые контрольные задания, иными словами, задания с несколькими входящими и исходящими семантико-

логическими взаимосвязями. Безусловно, возможность изменения в рамках метода предлагаемого алгоритма позволяет управлять педагогической составляющей процесса расчета степени семантико-логической связности результатов диагностики.

После завершения выделения нитей контрольных заданий из структуры контрольно-измерительного материала происходит расчет значения параметра T^*

для каждой нити. В первую очередь в каждой из нитей помечаются задания, на которые обучаемый в процессе диагностики дал неверный ответ. Подобные задания разрывают нити на поднити так, как это показано на рис. 8.

В настоящей работе предлагается алгоритм расчета значения степени семантико-логической связности для каждой нити контрольных заданий основанный на следующем принципе: каждое верно решен-

ное контрольное задание в нити увеличивает значение параметра T^* прямо пропорционально произведению силы взаимосвязи между текущим и предыдущим контрольным заданием и количеством семантико-логических взаимосвязей, образующих непрерывную цепочку. На рис. 9 приведен фрагмент алгоритма расчета значения параметра T^* для каждой нити.

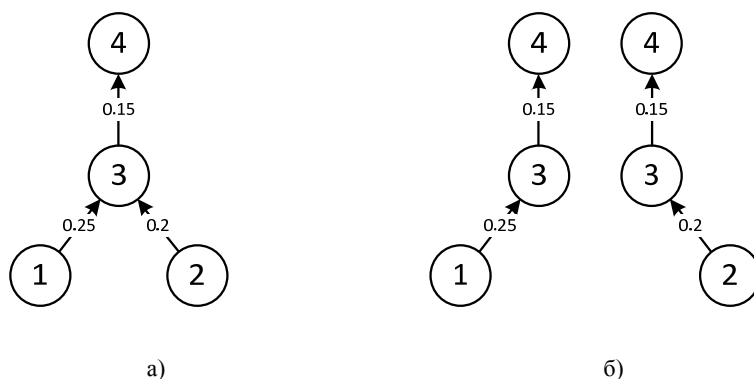


Рис. 7. Структура контрольно-измерительного материала (а) и выделенные из него нити контрольных заданий (б)



Рис. 8. Нить контрольных заданий, после объединения с результатами диагностики

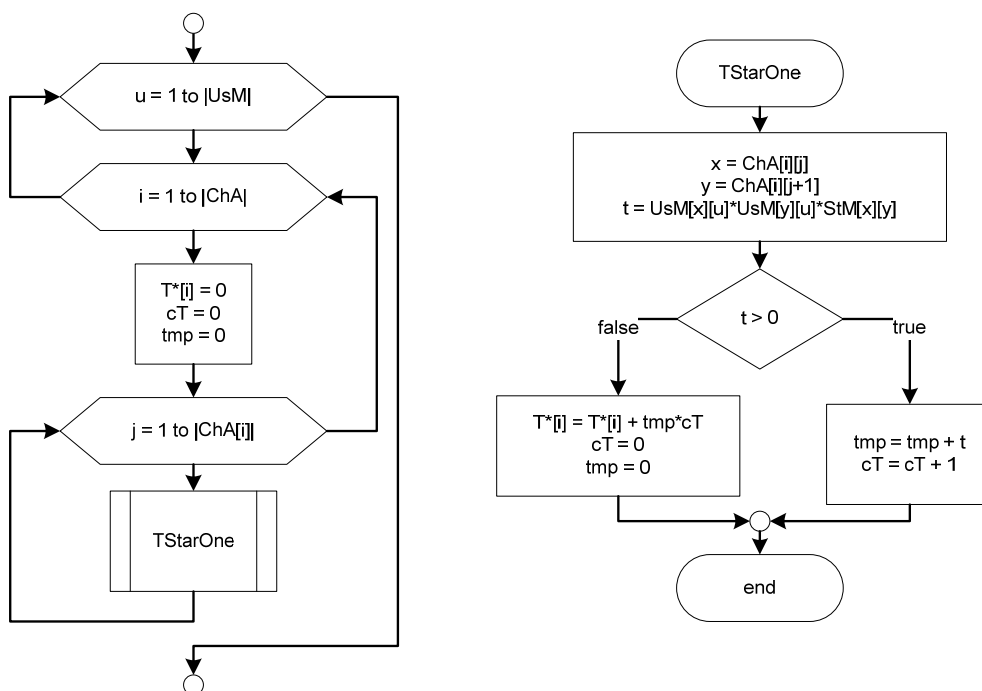


Рис. 9. Фрагмент алгоритма расчета значения параметра T^* для каждой нити

В общем виде согласно описанному принципу в основе расчета лежит следующее выражение:

$$T^* = \sum_i^N relWeight[i] \cdot N,$$

где *relWeight* – вес семантико-логической взаимосвязи, а *N* – количество семантико-логических взаимосвязей, образующих непрерывную цепочку.

Четвертый этап. На этом этапе проводится нормализация значений T^* , определенных для каждой из нитей контрольных заданий, с тем, чтобы значения находились в диапазоне [0; 1]. После первичной нормализации происходит агрегация значений T^* и вычисляется значение T^* , соответствующее паре обучаемый/контрольно-измерительный материал.

Пятый этап. На настоящем этапе происходит накопление и дальнейшая визуализация статистической информации, содержащей данные о соотношении значений уровня предметной подготовленности каждого из обучаемых и степени семантико-логической связности результатов диагностики T^* . На рис. 10 приведен график зависимостей параметров θ и T^* .

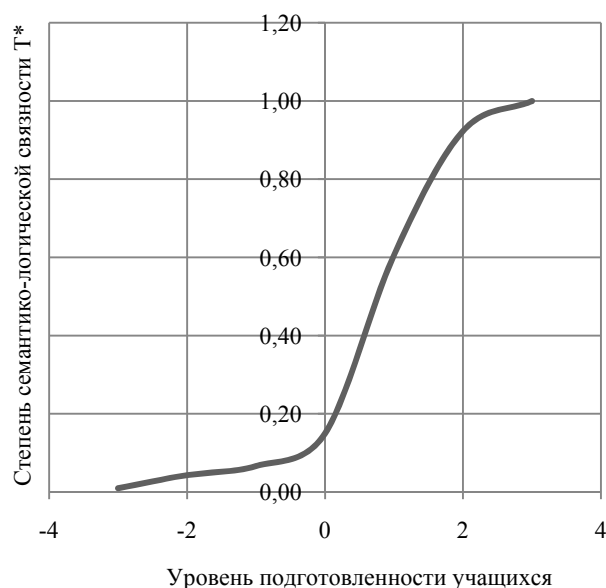


Рис. 10. График зависимости степени семантико-логической связности T^* от уровня подготовленности ученика

Анализ приведенного графика позволяет судить о трех основных диапазонах уровня подготовленности обучаемых, относительно параметра T^* , а именно – для рассматриваемого контрольно-измерительного материала:

– от -3 до 0 логит – низкая степень семантико-логической связности результатов диагностики, учащийся слабо понимает внутренние смысловые взаимосвязи изучаемого материала;

– от 0 до 2 логит – оптимальный диапазон уровня усвоения учебного материала, характеризующий-

ся высоким увеличением значения параметра T^* с ростом уровня подготовленности учащегося;

– от 2 до 3 логит – диапазон снижения темпов роста параметра T^* .

Выводы.

Научная новизна разработанных метода и алгоритма заключается в следующем. Предлагаемые метод и алгоритм основаны на совместном анализе структуры контрольно-измерительного материала и информации о правильности решения каждого из заданий обучаемым с целью выделения и дальнейшей трактовки семантико-логических нитей контрольных заданий. Анализ семантико-логических нитей контрольных заданий на базе предлагаемого алгоритма позволяет получить новый числовой показатель смысловой связности результатов диагностики предметной подготовленности обучаемого. Предлагаемый алгоритм является одним из возможных вариантов детализации и развития рассматриваемого метода, тем самым показывая возможность гибкого использования подходов к анализу семантико-логической составляющей структуры результатов диагностики уровня усвоения учебного материала.

С педагогической точки зрения рассчитываемый параметр T^* позволяет численно оценить степень смысловой целостности знаний учащихся, полученных в ходе изучения учебного материала. От степени понимания учащимся семантико-логических взаимосвязей элементов изучаемого учебного материала зависит, в конечном счете, успешность применения получаемых знаний при решении прикладных задач.

Таким образом, рассчитываемый на основе анализа смыслового контекста контрольно-измерительного материала латентный параметр степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня подготовленности учащегося является дополнительным параметром управления процессом обучения, как в традиционных, так и в информационно-образовательных системах.

Литература

1. Ким, В. С. Тестирование учебных достижений / В. С. Ким. – Уссурийск, 2007.
2. Макаров, А. В. Алгоритм расчета степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня подготовленности учащегося / А. В. Макаров, К. В. Макаров // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2013. – №23. – С. 23–28. – URL: http://amisod.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=185:amisod-2013-1-23-makarov-makarov&catid=23:amisod-2013-1-23 (дата обращения: 01.09.2013).
3. Макаров, А. В. Вопросы применения NOSQL СУБД в информационно-образовательных системах / А. В. Макаров // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – №19. – С. 78–83. – URL: http://amisod.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=105:amisod-2012-1-19-makarov&catid=16:amisod-2012-1-19 (дата обращения: 01.09.2013).
4. Макаров, А. В. Концептуальные основы проектирования информационно-образовательной среды непрерывного физического образования / А. В. Макаров, А. Ф. Ан // Современные проблемы науки и образования. – 2011. –

№6. – URL: www.science-education.ru/100-5211 (дата обращения: 01.09.2013).

5. Макаров, А. В. Метод и алгоритм диагностики уровня усвоения учебного материала на основе учета семантико-логических взаимосвязей контрольных заданий / А. В. Макаров // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2012. – №8. – URL: www.technomag.edu.ru/doc/434633.html (дата обращения: 01.09.2013).

6. Макаров, А. В. Разработка интегративной модели учебно-образовательной информации / А. В. Макаров // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – № 20. – С. 35–43. – URL: http://amisod.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=130:amisod-2012-2-20-makarov&catid=20:amisod-2012-2-20 (дата обращения: 01.09.2013).

УДК 669.046.5

Э. Э. Меркер, Л. Н. Крахт,
Л. Н. Королькова, Е. А. Черменев, В. А. Степанов
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова
(филиал) «Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ИХ ПОДАЧЕ В ПОДЭЛЕКТРОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 11.63.2014/К

По результатам экспериментальных данных, полученных при электроплавке железорудных металлизированных окатышей в дуговой печи, разработана математическая модель совместного нагрева и плавления окатышей в ванне агрегата. На основе результатов моделирования установлено, что плавление окатышей в подэлектродном пространстве дуговой печи позволяет существенно интенсифицировать процессы электроплавки стали с достижением более высоких энерготехнологических и технико-экономических показателей производства.

Дуговая печь, нагрев и плавление окатышей, электрическая дуга.

According to the results of the experimental data obtained at an electric smelting of DRI pellets in the electric arc furnace, a mathematical model of a joint heating and fusion of pellets in the bath have been developed. On the basis of modelling it is fixed that fusion of pellets in under electrode space of the arc furnace allows to intensify essentially the processes of an electric smelting of steel with the achievement of higher power technological and manufacture indices of production.

Electric arc furnace, heating and fusion of pellets, electric arc.

Введение.

Важная практическая роль процессов нагрева и обезуглероживания сталеплавильной ванны обусловлена необходимостью окислительного рафинирования расплава в условиях непрерывной загрузки в ванну металлизированных окатышей. Загрузка окатышей в ванну по ходу электроплавки ускоряет тепло- и массообмен в системе «метал – шлак – атмосфера печи», интенсифицирует «кипение» ванны и перемешивание металла и шлака, что обеспечивает высокие скорости плавления при существенном снижении расхода электроэнергии и повышении качества металла.

Исследования¹ по данной проблеме проводили на 150-т дуговой сталеплавильной печи ОАО «ОЭМК» с обработкой данных опытных плавов методом математической статистики. В дуговой печи с трансформатором мощностью 105 МВ·А при электроплавке использовали в металлошихте 30–35 % стального

лома и 65–70 % металлизированных окатышей, которые загружали в ванну непрерывно, а также подачу кислорода и топлива на ванну через топливно-кислородные горелки (ТКГ).

Анализ показывает, что скорость плавления металлизированных окатышей по ходу электроплавки определяется содержанием углерода $[C]$, скоростью изменения его концентрации (v_C , % $[C]$ /мин.), температурой металла (T_m , °С) и уровнем его перегрева над ликвидусом расплава ($\Delta T_{л}$, °С), расходом кислорода на продувку металла, количеством тепла, подводимым к ванне ($N_{эл}$, кВт·ч), и теплопоглощением расплава. Установлено, что скорость нагрева металла (v_t , °С/мин.) изменяется в соответствии с уравнением регрессии $v_t = 0,811 - 5,77v_C^0 - 0,013v_{ок} + 0,0019N_{эл}$ ($R = 0,85$), где $v_C^0 = v_{C1} + v_{C2}$ – общая скорость изменения концентрации углерода, % $[C]$ /мин.; v_{C1} – скорость науглероживания металла углеродом окатышей с учетом изменения массы металла в результате непрерывной загрузки окатышей (находили расчетным путем [5], [7]), % $[C]$ /мин.; v_{C2} – скорость обезуглероживания металлической ванны переменной мас-

¹Работа выполнена в рамках государственного задания № 11.63.2014/К.