

О ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ ЧАНКОВ К ОБУЧЕНИЮ ХИМИИ

Жилин Д.М.¹, Ткачук Л.Э.²

¹ *Политехнический музей, г. Москва, Россия*

² *СШ №6, г. Нягань Ханты-Мансийского автономного округа, Россия*

На Западе когнитивная психология считается многими теоретиками педагогики ключом к пониманию проблем обучения школьников. В соответствии с моделью Эткинсона и Шифрина [4], впоследствии дополненной и расширенной [4, 5], внешняя информация сначала проходит через фильтр восприятия, который отсекает большую её часть. То, что прошло через фильтр восприятия, попадает в сенсорные регистры, в которых информация прокручивается несколько секунд. Это может быть либо фонологическая петля (человек несколько раз проговаривает полученную информацию) либо визуальный блокнот («картинка, стоящая перед глазами») [1]. Далее она поступает в рабочую память (которая иногда рассматривается как часть кратковременной памяти, [2 и ссылки там]). Ёмкость рабочей памяти ограничена числом 7 ± 2 объекта [3], в ней происходит такая умственная деятельность, как устный счёт, рассуждения и решение задач [1].

Информация, обработанная в рабочей памяти, передаётся в долговременную, ёмкость долговременной памяти практически не ограничена [5 и ссылки там]. Там она связывается с уже имеющейся

информацией и хранится. В результате образуются объекты с сильными связями между своими элементами и относительно слабыми связями с внешними элементами. В дальнейшем эти объекты могут быть извлечены в рабочую память как единый, хоть и сложный объект [6]). Такие объекты называются чанками (*chunk*; наиболее близкий перевод на русский – «пласт познания», однако в российской психологической литературе этот термин обычно просто транслитерируют). Именно чанковая структура информации в долговременной памяти позволяет обойти ограничения рабочей памяти – число объектов в ней ограничено, но сами объекты (чанки) могут быть сколь угодно сложными.

Принципиально, что мастера (*experts*) хранят в долговременной памяти гораздо больше чанков, чем новички (около 50000, [7]), и эти чанки более сложны, чем у новичков. Мастерство также позволяет быстро отыскивать знакомые чанки в долговременной памяти. В процессе решения задач мастера используют так называемые макрооператоры, объединяя в чанки последовательности операций [8]. Таким образом, ограничения рабочей памяти преодолеваются не только на уровне воспроизведения информации, но и на уровне её использования. В соответствии с моделью, разработанной в [9], мастерство описывается в терминах формирования постоянно увеличивающихся чанков и эта способность прочно связана с ёмкостью рабочей памяти (то есть числом объектов, которые она может удерживать).

Из теории чанков имеется одно важное следствие: чем выше мастерство человека в данной предметной области, тем легче протекает его дальнейшее обучение в ней.

Теория чанков была заложена Де Гроотом [10] и развита Чейсом и Саймоном [11] (1973 г.). Они выяснили, что мастера шахмат способны с высокой точностью воспроизводить игровые позиции, даже если они были продемонстрированы в течение всего нескольких секунд. Однако если шахматные фигуры расставляли на доске в произвольном порядке, то мастера запоминали такую расстановку ненамного лучше,

чем новички. Оказалось, что способность мастеров запоминать игровые позиции проявляется потому, что в их рабочей памяти хранится большое количество хорошо организованных шахматных позиций, которые можно считать чанками. Чейс и Саймон [11] также отмечали, что мастера обычно рассматривают небольшое количество «хороших» ходов, в то время, как новички не видят разницы между «хорошими» и «плохими». Дальнейшие исследования показали, что мастерство есть функция навыка распознавания закономерностей [12] и припоминания закономерностей, значимых для данной предметной области. Позднее теория чанков была расширена до теории шаблонов (*template theory*) [7,13]. Шаблоны, помимо собственно чанков, содержат возможность хранить связанную с ними новую информацию в течение нескольких секунд.

Теории мастерства, базирующиеся на теории чанков, показали свою адекватность в программировании, медицинской диагностике, инженерии [6], архитектуре [14]. Эган и Шварц [15] в 1979 г. повторили эксперименты Чейса и Саймона с запоминанием электрических схем и получили аналогичные результаты для мастеров и новичков в электронике. Когда мастера в физике решают задачи, они используют схемы (которые можно считать чанками) через категоризацию [16]. Мастера в геометрии анализируют чертежи к геометрическим задачам как чанки и используют макрооперации, пропуская отдельные шаги [8]. Однако мастерство само по себе остаётся предметоспецифичным (то есть мастер в одной предметной области остаётся новичком в другой [17,18]).

Кроме теорий познания, понятие чанков используется в теориях освоения языков и символьных последовательностей. Так, при запоминании телефонных номеров они разбиваются на группы (например, код страны – код города – номер [19, 20]). В чанки объединяются объекты, которые часто оказываются вместе, в результате чего связь между ними доводится в долговременной памяти до автоматизма («если Мамаев, то курган»). Профессиональные переводчики используют чанки («разговорные клише»)

гораздо чаще, чем отдельные слова [21]. Знание грамматики скрытно закодировано в иерархической сети чанков [22]. Соединение объектов в чанки также используется при запоминании последовательностей символов в искусственной грамматике [23]. Измеряя время ответа в задаче назвать букву в алфавите следующую после (или до) названной и выясняя у испытуемых, с какой буквы они вспоминали алфавит, Клар с сотр. [24] выделил в алфавите несколько частей, которые можно считать чанками. Вспоминая букву, испытуемые сначала выбирали, в каком чанке она находится. Конечно, воспроизведение последовательности символов далеко от понимания естественных наук, но именно в химии этот навык широко применяется, ибо химические уравнения есть некий язык со своей последовательностью символов, которая тоже может объединяться в чанки. Дополнительным подтверждением применимости лингвистического представления о чанках в химии дают результаты работы [25], показавшей, что учащиеся скорее запоминают химические уравнения, чем выводят их рассуждениями.

В последнее время психологическая реальность чанков подтверждается нейробиологическими исследованиями, в первую очередь при помощи ЯМР-томографии. Давно известно, что долговременная память связана с височной долей головного мозга, а кратковременная – с лобной и теменной долей [26]. На основе этих данных показано, что когда игровую шахматную позицию демонстрируют на короткое время, у шахматистов-мастеров активизируются области, ответственные за *долговременную* память. Однако при запоминании геометрических рисунков задействована область кратковременной памяти. В исследовании [27] испытуемым предлагали заучить некоторое количество четырёхсимвольных последовательностей, после чего – восьмисимвольных. Оказалось, что если восьмисимвольная последовательность содержала одну из заученных четырёхсимвольных, при её запоминании были задействованы височные доли, а если последовательность была полностью новой – только лобные. Это также подтверждает

использование долговременной памяти при решении задач кратковременного запоминания.

Хотя современные модели, использующие чанки, достаточно сложны [5,18,28], у их базовой идеи есть как минимум два практических следствия:

– при обучении или решении задач учитель должен, во-первых, убедиться, что вся необходимая информация организована у учащихся в ограниченное (не более семи, а для лиц с меньшей ёмкостью рабочей памяти – ещё меньше) число чанков и, во-вторых, формировать необходимые чанки заранее;

– мастерство может быть оценено как сложность и количество чанков в долговременной памяти, что открывает возможности для нового типа педагогических измерений (см. [29, 30]).

Для преподавателей химии особый интерес представляет применимость теории чанков в этой предметной области. На основе теории чанков [5] Рейд предложил и идею предварительного обучения некоторым химическим понятиям и показал её эффективность. Данили и Рейд [31] строили обучающие материалы так, чтобы снизить нагрузку на рабочую память, что улучшило результаты обучения. Эль-Банна и Джонсон [32] измеряли ёмкость рабочей памяти учащихся и сравнивали её с успешностью в ответах на вопросы по химии разной сложности. Они обнаружили, что с ростом сложности успешность резко падает, причём, чем меньше ёмкость рабочей памяти, тем на более простых вопросах происходит это падение. Это подтверждает роль ёмкости рабочей памяти в ответах на вопросы по химии. Таасообширази и Глинн [33] моделировали стратегии решения химических задач. Они использовали понятие «схема» («хорошо организованные легкодоступные концептуальные структуры знания»), которое можно считать синонимом понятия «чанк» (хотя в их работах и нет доказательства, что схема обрабатывается как единое целое).

Все эти работы подтверждают роль рабочей памяти в обучении химии и решении химических задач. Однако они не отвечают на вопрос, объединена ли необходимая информация в чанки, то есть

обрабатывается ли она как единое целое. Учитывая, что мастерство предметоспецифично, нам нужно проверить применимость теории чанков в каждой предметной области, в которой мы собираемся её применять, в частности – в химии.

Простейший способ проверить, объединяется ли информация в чанки, это повторить эксперименты Чейса и Саймона [11], заменив шахматные позиции чем-нибудь знакомым химикам (как это сделали в 1979 году Эган и Шварц [15] для электрических схем). Наиболее специфический объект химии – химические уравнения. Поэтому мы сравнивали, как мастера и новички в химии запоминают (а) химические уравнения и (б) случайные цепочки, составленные из тех же символов. Если (а) мастера и новички запоминают случайные последовательности примерно одинаково; (б) новички запоминают реальные уравнения примерно как случайные последовательности и (в) мастера запоминают реальные уравнения лучше, чем случайные последовательности, то можно считать, что уравнения в мозгу мастеров объединены в чанки. В этом случае теория чанков применима в обучении химии, иначе – неприменима.

Экспериментальная часть

В эксперименте принял участие 171 человек. Участники были разбиты на девять групп – от полностью не знающих химию до тех, кого можно считать мастерами (табл. 1). Родным языком для всех был русский, но все они так или иначе изучали иностранные языки, поэтому латинские буквы всем были знакомы.

Семь групп составляли учащиеся одной из школ Ханты-Мансийского автономного округа, и эти группы мы будем в дальнейшем называть группами *новичков*. Две группы учились на первом курсе МГУ им. М.В. Ломоносова: группа Ch – студенты химического факультета, группа GC – группа геохимиков геологического факультета, и эти группы мы будем называть группами *мастеров*.

Таблица 1

Группы участников (в порядке априорной оценки уровня мастерства)

Группа	Число участников	Класс	Возраст	Уровень мастерства
N7	19	7	12-13	Нулевой
N8	23	8	13-14	Низкий
N9w	14	9 (слабый)	14-15	Низкий
N11se	16	11 социально-экономический	16-17	Низкий
N9m	22	9 (средний)	14-15	Средний
N11it	21	11 (информатики)	16-17	Средний
N9s	15	9 (сильный)	14-15	Выше среднего
GC	26	I курс МГУ, геологический ф-т, группа геохимиков	17-18	Очень высокий
Ch	15	I курс МГУ, химический ф-т	17-18	Высочайший

Участникам было продемонстрировано четыре реальных уравнения и четыре случайных цепочки (табл. 2). Случайные цепочки были получены из соответствующих уравнений путём случайного перемешивания символов отдельно слева от знака равенства и отдельно справа. Последовательности предъявлялись в случайном порядке.

Каждую последовательность предъявляли испытуемым в течение 30 секунд через оверхед- или медиапроектор. Далее участники ожидали одну минуту, после чего им была дана одна минута на то, чтобы записать, что они запомнили. Перед экспериментом мы демонстрировали тестовую последовательность, чтобы убедиться, что все участники хорошо видят, что изображено.

Успешность воспроизведения характеризовали количеством корректно воспроизведённых символов. Символ считался корректно воспроизведённым, если он был частью предъявленной последовательности. Пропущенные символы не засчитывались. Если

был вставлен лишний символ, то следующий за ним не засчитывался (чтобы учесть вставку как ошибку). Также не учитывался символ, замещённый другим. Если два соседних символа были перепутаны, то засчитывался один из них.

Таблица 2

Последовательности символов, предъявленные участникам эксперимента

№	Последовательность	Каким группам знакома	№ по порядку предъявления	Кол-во	
				Элементов	Символов
1r	$2\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCN}$	Ch	7	5	22
1f	$2\text{H} + \text{CNO}_2\text{CNa}_2\text{O} = \text{NaH}_3 + 2\text{CCN}_2\text{O}$		4		
2r	$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 = \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NaNO}_3$	все, кроме N7	6	5	24
2f	$(\text{O})\text{Na} + 3\text{S}_4\text{NBaO}_2\text{O}_2 = \text{ONaBaO} \downarrow \text{SN}_3 + 2_4$		8		
3r	$2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2 \uparrow$	Ch, GC	3	4	25
3f	$2\text{OAl} + 2 + 6\text{H}_2\text{OHNa} = 2([\uparrow]\text{Al}_4 + 3\text{OH}_2\text{NaH})$		1		
4r	$\text{K}_3\text{AsO}_4 + 2\text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{K}_3\text{AsO}_3 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	никому	2	6	33
4f	$_2 + \text{K}_4\text{OAs} + 2_3\text{SHO}_4\text{IK} = \text{OK}_2 + \text{HS}_4\text{KO}_{23} + \text{O}_2\text{As} + 2\text{I}_3$		5		

Кроме того, мы считали частоту корректного воспроизведения символа в группе, что есть число членов группы, воспроизведших символ корректно, к общему числу членов группы.

Статистические гипотезы проверялись при помощи программы Statistica 7.0 (StatSoft Inc.). Нормальность распределений проверяли по критерию Шапиро-Уилка (доверительная вероятность 0.95 если не указано иное).

Результаты

На рис. 1 сопоставлено воспроизведение реальных уравнений и случайных цепочек для всех групп. Была проверена нормальность распределения числа корректно воспроизведённых символов в группе и результаты приведены в табл. 4.

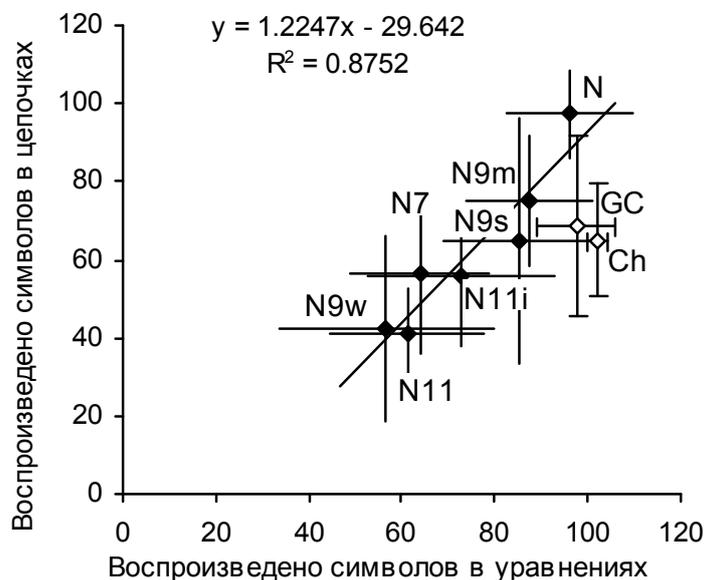


Рис. 1. Среднее количество корректно воспроизведённых символов в исследованных группах. Планки погрешностей означают стандартное отклонение. Группы мастеров (GC и Ch) исключены из расчёта линии тренда и коэффициента корреляции.

По воспроизведению реальных уравнений группы мастеров значительно отличаются друг от друга (тест ANOVA с последующим тестом Tamhane T2). Кроме того, группа Ch воспроизводила реальные уравнения значительно лучше, чем любая группа новичков. Группа GC воспроизводила реальные уравнения значительно лучше, чем все остальные группы новичков, кроме N8 (каковая группа будет обсуждена отдельно). В обеих группах для всех реальных уравнений распределение числа воспроизведённых символов не нормальное.

Что касается случайных цепочек, то у групп мастеров результаты их воспроизведения были (а) распределены нормально, (б) распределены гораздо шире и (в) не отличались значимо от остальных групп кроме N8 и N11e.

Вышеописанная картина сохранялась и при сравнении воспроизведения каждой отдельной пары случайная цепочка – реальное уравнение.

Внутри групп новичков успешность в воспроизведении реальных уравнений и случайных цепочек также значимо коррелирует (чем лучше участник воспроизводит уравнение, тем лучше – случайную цепочку), причём с линия тренда близка к $y = x$. В группах мастеров никакой корреляции нет.

Многие мастера (13 членов группы GC из 26 и 6 членов группы Ch из 15), но не новички сделали примечательную ошибку: вместо знака равенства они указывали стрелку \rightarrow . Это – единственная замена, не изменяющая смысла уравнения (и не считавшаяся ошибкой при обработке данных). Но распространённость этой ошибки у мастеров подтверждает идею, что они запоминают уравнения как единое целое (т.е. как чанк), а не посимвольно.

Особый интерес представляет группа N8, члены которой очень успешно запомнили как уравнения, так и случайные цепочки без значимого различия между ними (по парному t -критерию и критерию знаков) и с несимметричным распределением (поскольку 100%-ное воспроизведение перевешивало). Это значит, что у участников этой группы либо экстремально высокая ёмкость рабочей памяти, либо экстремально высокий предел сосредоточения внимания [34]. Скорее всего, это побочный результат процедуры предварительного отбора в соответствующий класс, но механизма мы предложить не можем.

Мы также изучили успешность воспроизведения символов в последовательности в зависимости от его порядкового номера (рис. 2). Можно сформулировать следующие закономерности. Первые 2-3 символа воспроизводятся практически всеми. Затем частота корректного воспроизведения снижается до 6-го – 7-го символа, после чего колеблется и далее снижается после 16-го символа. Это говорит о том, что символы в случайных цепочках запоминаются слева направо. Этот вывод подтверждается наличием значимых корреляций ($p = 0.99$) между частотами воспроизведения символов, занимающих одно и то

же положение в разных последовательностях (независимо, реальных или случайных). Для групп новичков такая корреляция наблюдалась в 36 случаях из 42 (6 пар последовательностей и 7 групп).

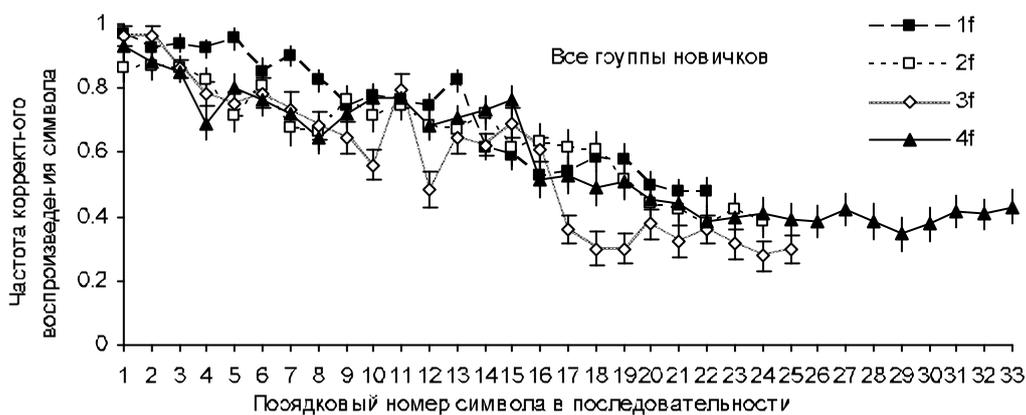


Рис. 2. Частоты корректного воспроизведения символов случайных цепочек для всех групп новичков. Плоские погрешности означают стандартные отклонения между группами.

В отличие от новичков, частота воспроизведения символов случайных цепочек мастерами зависит не только от позиции символа. Некоторые последовательности («CCN», «BaO₂O₂», «2₄», «H₂O», «HNa», «SHO») мастера воспроизводят значительно чаще, чем окружающие символы. Это означает, что мастера каким-то образом связывают в чанки отдельные куски даже случайных последовательностей.

Что касается посимвольного воспроизведения реальных уравнений, то чем слабее группа, тем ближе проявляющиеся при этом закономерности к закономерностям запоминания случайных цепочек. Для групп N7, N11i и N11s значимые или умеренные корреляции частот воспроизведения символов в зависимости от их положения наблюдались для всех пар реальных уравнений, а для N8 и N9m — для пяти пар из шести. Для группы N9w таких корреляции не было для простейшего уравнения 2г. А у самой сильной группы новичков (N9s)

корреляция наблюдалась только для двух пар из шести. У групп мастеров никаких корреляция, связанных с положением символа в реальном уравнении, не наблюдалось.

Обсуждение результатов

Общая закономерность в воспроизведении реальных уравнений и случайных цепочек химических символов группами новичков и мастеров в химии такова. Нет принципиального различия между мастерами и новичками в запоминании случайных цепочек и воспроизведением уравнений и случайных цепочек новичками. Однако мастера принципиально лучше новичков запоминают реальные уравнения. Причём механизм этого запоминания явно отличается от механизма запоминания случайных цепочек, что следует из отсутствия корреляция между результатами воспроизведения случайных цепочек и реальных уравнений у мастеров, но не у новичков.

Это полностью соответствует закономерностям, обнаруженным для шахматистов [11, 13]: новички и мастера принципиально различаются в воспроизведении предметоспецифичной информации. Теперь мы можем распространить этот вывод на предметную область химии.

Однако кроме групп мастеров (хорошо воспроизводят реальные уравнения и плохо – случайные цепочки) и новичков (плохо воспроизводят и то, и другое) мы должны выделить третью группу – тех, кто одинаково хорошо запоминает и реальные уравнения и случайные цепочки вне зависимости от их длины. В нашем случае это была группа N8. Мы бы назвали её «зубрилы». Проблема зубрил уже возникала при исследованиях обучения химии азиатских студентов [35, 36], но их когнитивные возможности и механизмы познания до сих пор не изучены.

Наиболее вероятный способ запоминания бессмысленных цепочек (то есть цепочек, которые никак не отражаются в структурах в долговременной памяти) – посимвольное запоминание. Это подтверждается корреляциями частот воспроизведения символов,

находящихся на определённой позиции, в разных случайных цепочках. Схожие результаты получили Келле и Джонстон [20], которые изучали записи химических уравнений студентами и обнаружили, что большая часть ошибок содержится в правой части и, опросив студентов, выяснили, что те запоминают уравнения посимвольно. При помощи этого механизма можно запомнить столько символов, сколько позволяет либо рабочая память, либо сенсорные регистры. С другой стороны, если считать каждый символ отдельным объектом, то человек должен запомнить не более девяти символов (что соответствует ёмкости рабочей памяти), а их запоминается больше.

Механизм запоминания осмысленных уравнений мастерами явно другой. Он явно не лимитирован ни ёмкостью рабочей памяти, ни ёмкостью сенсорных регистров. Можно предположить, что мастера используют информацию, хранящуюся у них в долговременной памяти, что подтверждает теорию чанков. Число чанков не должно быть больше семи, чтобы не превысить ёмкость рабочей памяти [5]. Кроме того, правила связывания компонентов уравнений, если мастера ими владеют, дополнительно разгружают рабочую память. Поэтому мастера, видимо, запоминают только какие-то ключевые моменты (например, формуле реагентов как чанки) и восстанавливают всё остальное, используя эти правила. Возможно, что наиболее продвинутые мастера вообще хранят уравнения в долговременной памяти в качестве единого чанка – этот вопрос требует дальнейших исследований.

Практические приложения

Не подлежит сомнению, что основные задачи химии как науки, это предсказать, какие вещества образуются в том или ином процессе и подобрать условия получения тех или иных веществ. Чтобы решить обе проблемы, нужно писать уравнения химических реакций. Результаты нашей работы показывают, что большинство людей (за исключением «зубрил») не могут запомнить химическое уравнение «посимвольно». А это, в свою очередь, значит, что зазубривание химических уравнений бесполезно для большинства учащихся. Для

того, чтобы учащиеся могли запоминать достаточно сложные уравнения, требуется постепенное формирование соответствующих чанков, всё усложняющихся. Сначала формируются элементарные понятия, которые потом связываются друг с другом в долговременной памяти, формируя более сложные чанки. Вполне возможно, что формулы отдельных веществ суть более простые чанки, чем уравнения реакций, поэтому перед тем, как обучать школьников написанию уравнений, следует заложить в долговременную память школьников формулы отдельных веществ. Из этого также следует неадекватность «контекстного», «проектного» и других видов обучения химии, не предполагающих постепенного усложнения и развития понятий (что было в общем виде показано Киршнером с сотр. [37]).

Однако чтобы предложить разумный путь формирования чанков, необходимо знать их природу в предметной области химии, что есть тема дальнейших исследований.

Выводы

1. Теория чанков применима в предметной области химии, т.е. в долговременной памяти мастеров химии содержатся сложные объекты, связанные с химией, которые обрабатываются рабочей памятью как единое целое. Это означает, что для подготовки мастеров в этой области следует строить курсы таким образом, чтобы постепенно формировать предметоспецифичные чанки от элементарных до сложных, разумно загружая рабочую память учащихся.

2. И новички, и мастера запоминают случайные цепочки химических символов слева направо, но мастера умудряются воспринимать как единые чанки даже отдельные части случайных последовательностей. Здесь возможно несколько механизмов: знакомые последовательности, фонологическая петля сенсорных регистров, визуальный блокнот сенсорных регистров. Однако

сходство этих механизмов с механизмами запоминания реальных уравнений находится под вопросом.

3. Природа чанков, связанных с химией, – предмет дальнейшего изучения.

4. Для дальнейших исследований по когнитивной психологии представляется целесообразным, помимо групп мастеров и новичков, выделить группу зубрил. Зубрилы могут каким-то образом запоминать огромные объемы информации безотносительно к её смыслу и структуре. Судя по всему, их познавательные механизмы отличаются как от механизмов новичков, так и от механизмов мастеров.

Мы благодарим доцентов химического факультета МГУим. М.В. Ломоносова Е.Ф. Казакову и И.В. Морозова за помощь в организации исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Baddeley A.D.* (1999). *Essentials of Human Memory*. Psychology Press.
2. *Yuan K., Steedle J., Shavelson R., Alonzo A., Oppezzo M.* (2006) Working memory, fluid intelligence, and science learning. *Educational Research Review*, 1, 83–98.
3. *Miller J.A.* (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 101, 343-352.
4. *Atkinson R.C., Shiffrin R.M.* (1968) Human memory: A proposed system and its control processes. – In: Spence K. W. and Spence J. T. *The Psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 2.
3. *Reid N.* (2008). A scientific approach to the teaching of chemistry. What do we know about how students learn in the sciences, and how can we make our teaching match this to maximise performance? *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 51–59.
6. *Gobert F., Lane P.C.R., Croker S., Cheng P.C.-H., Jones G., Oliver I., Pine J.M.* (2001). Chunking Mechanisms in Human Learning. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5, 236–243.
7. *Gobert F., Simon H.A.* (1996b). Chunks in chess memory: Recall of random and distorted positions. *Memory and Cognition*, 24, 493-503.
8. *Koedinger K.R., Anderson J.R.* (1990). Abstract Planning and Perceptual Chunks: Elements of Expertise in Geometry. *Cognitive Science*, 14, 511–550.

9. Brooks D.W., Shell D.F. (2006). Working memory, motivation, and teacher-initiated learning. *Journal of Science Education and Technology*, 15, 17-30.
10. DeGroot A.D. (1946/2008). *Thought and choice in chess*. Amsterdam University Press. Amsterdam Academic Archive.
11. Chase W.G., Simon H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55–81.
12. Cooke N.J. (1992). Modeling human expertise in expert systems. In R. Hoffman (Ed.) *The Psychology of Expertise, Cognitive Research and Empirical AI* (pp. 29-60). New York. Springer.
13. Gobert F., Simon H.A. (1998). Expert Chess Memory: Revisiting the Chunking Hypothesis. *Memory*, 6, 225-255.
14. Akin O. (1986) *Psychology of architectural design*. London: Pion.
- Anderson, J. R. ACT. A Simple Theory of Complex Cognition. (1996) *American Psychologist*, 51, 4, 355-365.
15. Egan D.E. Schwartz B.J. (1979). Chunking in recall of symbolic drawings. *Memory and Cognition*, 7, 149-158.
16. Chi M.T.H., Feltovich P.J. Glaser R. (1981) Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5: 2, 121 — 152.
17. McNeill K.L., Lizotte D.J., Krajcik J. Marx R.W. (2006) Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15, 153–191.
18. Sweller J. (2003). Evolution of Human cognitive architecture. In B. Ross (Ed), *The Psychology of learning and motivation*, Vol. 43, (pp. 215-266), San Diego: Academic Press.
19. Johnstone A.H. (2006). Chemical Education Research in Glasgow in Perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 49-63.
20. Kellett N.C. Johnstone A.H. (1980). Learning Difficulties in School Science – towards a Working Hypothesis. *European Journal of Science Education*, 2, 175-181.
21. McWhinney B. (2004). A Unified Model of Language Acquisition. In J. Kroll & A. De Groot (Eds.), *Handbook of Bilingualism: Psycholinguistic Approaches* (pp. 49-67). Oxford, UK. Oxford University Press.
22. Servan-Schreiber E. Anderson J.R. (1990). Learning Artificial Grammars with Competitive Chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 592-608.
23. Boucher L. Dienes Z. (2003). Two ways of learning associations. *Cognitive Science*, 27, 807–842.

24. *Klahr D., Chase W.G., Lovelace E A.* (1983). Structure and Process in Alphabetic Retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 9, 462-477.

25. *Howe T.V., Johnstone A.H.* (1971). Reason or memory? The learning of formulae and equations. *Edinburgh, National Curriculum Development Centre Bulletin* 1.

26. *Campitelli G., Gobet F., Head K., Buckley M., Parker, A.* (2007). Brain localization of memory chunks in chessplayers. *International Journal of Neuroscience*, 117, 1641–1659.

27. *Abe M., Hanakawa T., Takayama Yo., Kuroki Ch., Ogawa S. Fukuyama H.* (2007) Functional Coupling of Human Prefrontal and Premotor Areas during Cognitive Manipulation. *Journal of Neuroscience*, 27, 3429 –3438.

28. *Anderson J.R.* (2007) *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* Oxford University Press.

29. *Walczak S. Fishwick P.* (1997). A quantitative analysis of pattern production and its relationship to expert performance. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 9, 83-101.

30. *Sirhan G.* (2007) Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4, 2-20.

31. *Danili E. Reid N.* (2004). Some strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors. *Research in Science & Technological Education*, 22, 203-226.

32. *El-Banna H. Johnstone A.H.* (1986). Capacities, demands and processes: a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, 80-84.

33. *Taasoobshirazi G. Glynn S.W.* (2009) College Students Solving Chemistry Problems: A Theoretical Model of Expertise. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 1070–1089.

34. *Cowan N.* (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87–185.

35. *Watkins D. Ismail M.* (1994). Is the Asian Learner a Rote Learner? A Malaysian Perspective. *Contemporary Educational Psychology*, 19, 483–488.

36. *Saravanamuthu K.* (2008) Reflecting on the Biggs-Watkins theory of the Chinese Learner. *Critical Perspectives on Accounting*, 19, 138-180.

37. *Kirschner P.A., Sweller J, Klark R.E.* (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75–86.