

ФОРМИРОВАНИЕ У ОПЕРАТОРОВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПОНИМАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА: АКТУАЛЬНАЯ ЗАДАЧА И ОБЪЕКТИВНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНИНГА

В.М. Дозорцев (ЗАО «Хоневелл»), А.А. Обознов (ИП РАН),
В.А. Назин (ЗАО «Хоневелл»), С.В. Гуцыкова (ИП РАН), А.С. Миронова (МФТИ)

Предпринята попытка осознать, в чем могут выражаться изменения, претерпеваемые операторами в ходе компьютерного тренинга (с учетом специфики операторской деятельности), и как они могут быть оценены.

Обсуждаются предпосылки и инструменты исследования динамики концептуальной модели оператора (КМ): известные подходы к оценке результатов тренинга, предтренинговая подготовка операторов и экспериментальная проверка ее эффективности, содержание и структура КМ оператора, а также критерии оценки динамики модели, связь успешности тренинга (проявляемой посредством КМ) с личностно-психологическими особенностями операторов. Приведены результаты экспериментального исследования динамики КМ.

Ключевые слова: концептуальная модель, оператор, компьютерный тренинг, предтренинговая подготовка.

Введение

Компьютерный тренинг (КТ) операторов ТП — общепризнанный инструмент обеспечения промышленной безопасности. Впечатляющая статистика аварий в перерабатывающих отраслях промышленности¹, демографические проблемы и нехватка квалифицированных операторских кадров², практическое разрушение в нашей стране системы подготовки операторов — все это требует эффективных методов компьютерного тренинга.

Успехи современного тренажеростроения налицо: рынок тренажеров огромен (~1 млрд. долл. США в год вместе со смежными высокотехнологичными решениями промышленной автоматизации <http://arcweb.com>), а все компоненты КТ высокоразвиты (точные математические модели ТП, практически абсолютное воспроизведение среды управления, продвинутые средства инструктирования)³. Тренажеры — эффективная точка инвестиций в промышленную безопасность. Средний эффект от использования одной тренажерной системы в течение ее жизненного цикла оценивается в 18 млн. долл. США⁴, а ежегодный эффект, рассчитанный на основе многолетней статистики аварий, допущенных по вине операторов, достигает 0,5 долл. США на тонну сырой нефти в год [1]. Однако при этих достижениях разработчики и пользователи КТ ощущают дефицит функциональности тренажеров.

Опыту разработки и использования КТ посвящена обширная литература, это предмет оживленных дискуссий на профессиональных форумах.

Сосредоточимся на методике КТ, чье влияние на качество тренинга не столь подробно исследовано в сравнении с тренажерными моделями и средой управления. В этом контексте усилия исследователей сосредоточены на: классификации типов и структуре КТ, составе и объеме тренировочных упражнений, оценке результатов тренинга [1]. Но практически без ответа остается вопрос, как измерить влияние тренинга на операторов.

Оценить качество выполнения тренировочных упражнений и пост-тренировочных тестов несложно. Можно даже исходя из результатов таких тестов оценить «фактическую» компетентность операторов⁵. Но проверка исполнения операторами заранее предлагаемых нормативных стратегий не отвечает на поставленный вопрос, поскольку не дает гарантии, что в других ситуациях оператор будет столь же успешен. Важно, насколько успешным будет перенос выработанных в тренинге навыков на реальную практику и изменится ли что-нибудь в структуре умений оператора (знаний и навыков) вследствие пройденного обучения. Нужно также понять, зависит ли успешность обучения от личностных особенностей операторов.

Ответы на эти вопросы важны людям, отвечающим за подготовку персонала. Им необходима объективная обратная связь от КТ, то есть они должны видеть изменения оператора по ходу обучения как с целью понимания объективного уровня его компетентности, так и для корректировки содержания тренинга.

Начнем с обсуждения предпосылок и инструментов исследования динамики КМ оператора.

Исследование динамики КМ у операторов ТП в ходе КТ и предтренинговой подготовки

Об оценке результатов КТ

Ключевым для определения качества КТ является принцип подобия деятельности оператора в тренинге и его реальной деятельности. Современные тренажеры позволяют добиться высокого уровня такого подобия. Тренажерные модели достаточно точны, операторская среда управления может быть воспроизведена практически идеально. Методики КТ строятся на современных представлениях о природе необходимых оператору умений, представляющих собой иерархическую структуру знаний и навыков разного содержания и психической природы [1].

¹ https://usa.marsh.com/Portals/9/Documents/100_Largest_Losses2011.pdf

² http://www.automation.com/pdf_articles/Changing_Workforce_Demographics_Transform_Manufacturing.pdf

³ http://www.controleng.com/index.php?id=483&cHash=081010&tx_ttnews%5Btt_news%5D=40524

⁴ <https://oda.hio.no/jspui/bitstream/10642/1544/1/939013.pdf>

Качественно выполненный тренажер — предпосылка успешности подготовки операторов, но сам по себе не гарантия результата. Очень многое зависит от организации процесса обучения, в частности, от способности оценить прогресс обучаемого и на его основе скорректировать программу обучения. Сама проблема корректировки программы тренинга отражена уже в нормативных документах, регламентирующих КТ. Так, в «Общих правилах взрывобезопасности» (<http://www.orgi.ru>) предусмотрен повторный тренинг, назначаемый в случае недостаточного успешного усвоения обучаемым оператором тех или иных разделов программы. Это может быть определено инструкторами или линейными руководителями обучаемого как по формальным результатам тренинга, так и по качеству управления реальным ТП.

Известны также подходы к оценке результатов тренинга, построенные на измерении профессиональных умений оператора по схеме «задачи — компетенции — умения — поведения»⁵. *Задачи* оператора определяются его профессиональной ролью (например, обязанностью управлять процессом в нормальном режиме, предсказывать наступление и компенсировать последствия наступления нештатных ситуаций) и решаются на основе имеющихся у него *компетенций*. Например, для управления процессом в нормальном режиме консольный оператор должен оперировать средствами КИПиА, взаимодействовать с другими операторами, выполнять передачу производственной смены и пр.

При этом *умения* определяют уровень владения конкретным оператором определенной предметной областью (от базового до мастерского). Оценить этот уровень можно с использованием специально разработанных тестов. *Поведения* описывают компетенции в измеряемых терминах и могут быть общими и специфическими. *Общее* поведение прямо связано с компетенцией (например, в управлении сигнализацией общее поведение — это владение средствами и стратегией технологической сигнализации). Общее поведение может проявляться на разных уровнях умения оператора: умеет просто наблюдать за сигнализацией; наблюдает за сигнализацией для понимания потенциальных проблем; предлагает улучшения системы сигнализаций. Эти три специфических поведения позволяют оценить уровень знаний, навыков и (совокупно) умений оператора.

Такого рода оценки чрезвычайно важны при управлении программами подготовки операторов на предприятиях, но они также не позволяют оценить изменения когнитивных характеристик обучаемого в результате КТ. Редкое и не вполне специфическое по отношению к КТ исключение — подход, в котором для оценивания разницы в структуре профессиональных умений операторов разной подготовки использовался (наряду с другими инструментами) и КТ (авт. D. S. Burkolter <http://ethesis.unifr.ch/theses/BurkolterD.pdf?file=BurkolterD.pdf>). Основой подхода, применяемого в дальнейшем исследовании, является ком-

плекс работ по изучению содержательных и структурных характеристик КМ у операторов ТП [2].

О предтренажерной подготовке операторов

Что происходит с оператором по мере его профессионализации? Он проходит первоначальное обучение, сдает экзамены на допуск к работе, укрепляет навыки в процессе работы. На каком-то этапе наступает очередь КТ. Однако как не всякого оператора подпускают к управлению реальным ТП, так же бессмысленно обучение на современных тренажерах неподготовленных для этого операторов. Сначала необходимо выработать базовые навыки управления, прежде всего, укрепить понимание причинно-следственных связей в ТП и развить навыки диагностирования причин нарушений в процессе.

Авторами разработаны технические средства и методики «предтренажерной» подготовки, многократно внедренные и опробованные в центрах обучения предприятий нефтепереработки и нефтехимии [3]. Кратко опишем систему «Диагност», использованную в экспериментальном исследовании.

Обучаемый ведет с «Диагностом» некоторую пошаговую «игру», имитирующую принятие диагностических решений в реальной практике. Игра реализуется на заранее определенном подмножестве отказов и параметров процесса (таких игр можно сформировать сколько угодно). Выбрав случайным образом один из отказов, система держит его в секрете от обучаемого, но информирует его об одном из симптомов выбранного отказа. Задача обучаемого — определить, какой именно отказ «загадан» системой. У обучаемого есть возможность либо выбрать один из отказов и проверить, действительно ли он был загадан (такое действие стоит «дорого»), либо проверить поведение какого-либо нового параметра (действие «дешевле»). Обучаемый стремится определить загаданный отказ, получив при этом минимальное число штрафных баллов.

В начале текущей симптоматики соответствует не один, а несколько отказов. В такой ситуации обучаемому «выгоднее» запросить дополнительную симптоматику. Ключевой вопрос — какой параметр лучше запросить; ответ на него и определяет мастерство оператора-диагноста.

Оценка за всю игру получается из сопоставления набранных штрафных баллов с теми баллами, которые обучаемый набрал бы, действуя оптимально (по разным стратегиям). Заметим, что реальное время, затраченное на игру, не влияет на оценку; его дефицит подменяется дефицитом информации, необходимой для решения.

Проверка эффективности предтренажерной подготовки

Объективные изменения результатов подготовки операторов по ходу тренинга, как и улучшения, достигнутые за счет предтренажерной подготовки, могут быть измерены. Эксперимент, доказывающий состоятельное улучшение качества диагностирования

⁵ <https://www.honeywellprocess.com/library/news-and-events/presentations/HUG12-Honeywell-Ross-Operator-Competency.pdf>

неисправностей в результате обучения на системе «Диагност», подробно описан в работе [4]. Вкратце его результаты таковы.

В эксперименте участвовали две группы испытуемых — студенты старших курсов и выпускники профильных вузов (по три человека в каждой группе). Группы усреднялись по полу, стажу обучения или работы испытуемых.

Экспериментальная группа сначала проходила обучение на системе «Диагност», а затем после часового перерыва решала диагностические задачи на тренажере (решено было по 8 задач, среднее время решения — О1). После двухдневного перерыва (для проверки закрепления навыка) эта же группа решала на тренажере новую серию задач (среднее время решения — О2). При этом контрольная группа не проходила обучения с помощью «Диагноста», а сразу начала работу на тренажере, проведя три серии диагностики, разделенные часовым и двухдневным перерывом (среднее время решения в сериях — О3, О4 и О5 соответственно). При этом последние серии для каждой группы включали ранее не встречавшиеся нештатные ситуации, что имитировало переход от занятий на тренажере к реальному управлению ТП.

Получены следующие статистически достоверные результаты (уровни значимости *t*-критерия Стьюдента варьировали от 0,01 до 0,05 при выборке в 24 диагностических задачи в каждой группе для каждой серии):

а) $O2 < O1$ и $O5 < O4 < O3$ (эффект научения, сохраняющийся в обеих группах при длительном перерыве и существенном обновлении задания);

б) $O1 \ll O3$ (предтренажерное обучение резко улучшает первую серию на тренажере). Этот результат вполне ожидаем, поскольку помимо проверяемого гипотетического эффекта предтренажерное обучение дает ознакомление с ТП;

в) $O1 \ll O4$ и $O1 < O5$ (предтренажерное обучение улучшает уже первую серию экспериментальной группы на тренажере в сравнении со второй и даже в сравнении с третьей серией в контрольной группе). Это центральный результат, подтверждающий полезность предтренажерного обучения.

Итак, улучшения в работе операторов, достигаемые за счет специального обучения, могут быть до-

стоверно зафиксированы. Но этот результат также не доказывает объективных изменений в когнитивной сфере обучаемого оператора.

Об изменениях в КМ оператора

Знания о развитии у операторов КМ сложных ТП, управляемых человеком, остаются во многом фрагментарными, однако позволяют определить необходимые опорные точки для создания целостной картины их развития.

В процессе самообучения и получения профессионального опыта у операторов последовательно создаются несколько видов КМ — технологические, топологические, функциональные, информационные, алгоритмические и образные модели. Каждая из этих моделей формируется на основе присущих только ей семантически целостных единиц, имеющих те же названия. Например, в технологических семантически целостных единицах представлены сведения об отдельных элементах ТП и технического оборудования (агрегат, устройство, участок, технологическая операция, материальные и энергетические потоки и т.п.), функциональных семантически целостных единиц — сведения о состояниях элементов ТП (отключение/выключение агрегата, выполнение технологической операции и т.п.). Между семантически целостными единицами могут устанавливаться производственно-технологические, причинно-следственные, алгоритмические и пространственные взаимосвязи. Эмпирически показано, что определенные взаимосвязи могут соответствовать только определенным видам КМ [5]. Таким образом, развитие КМ может пониматься как последовательное включение в первоначально сформированную технологическую КМ семантически целостных единиц других видов.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос о развитии представлений операторов о взаимосвязанности семантически целостных единиц, содержащихся в КМ. Прежде всего, речь идет о развитии представлений операторов о причинно-следственных связях между семантически целостными единицами (понятиями), содержащимися в КМ. В эмпирическом исследовании операторы атомной станции, работающие в должности ведущего инженера по управлению реактором энергоблока, оценивали с помощью 7-балльной шкалы степень взаимосвязанности понятий о ключевых характеристиках энергоблока. Высокие оценки взаимосвязанности этих понятий (5...7 баллов) означают для операторов, что соответствующие ключевые характеристики находятся в причинно-следственных связях (если изменяется одна характеристика, то всегда или почти всегда изменится и другая). Средняя оценка (4 балла) означает условную связь (при изменении одной характеристики другая может измениться/не измениться), а низ-

Таблица 1. Распределение (%) субъективных оценок взаимосвязанности понятий о ключевых характеристиках энергоблока атомной станции в КМ у операторов с разным стажем работы в должности ведущего инженера по управлению реактором (усредненные данные по группам обследованных)

Стаж работы операторов в должности ведущего инженера по управлению реактором	Субъективные оценки степени взаимосвязанности ключевых характеристик			Итого
	Высокие (5...7 баллов)	Средняя (4 балла)	Низкие (1...3 балла)	
Студенты-атомщики выпускного курса, прошедшие производственную практику (стаж отсутствует)	20,0	25,0	55,0	100
Операторы со стажем ≤2 лет	46,0	17,0	37,0	100
Операторы со стажем 3...4 года	53,0	16,0	31,0	100
Операторы со стажем 5...9 лет	58,0	18,0	24,0	100
Операторы со стажем 10...25 лет	37,0	21,0	42,0	100

Цветом выделены высокие оценки взаимосвязанности ключевых характеристик

кие оценки (1...3 балла) означают, что при изменении одной характеристики, другая почти всегда не изменится, либо всегда не изменится. Как следует из данных, приведенных в табл. 1, имеется нелинейная зависимость между длительностью стажа работы операторов в должности ведущего инженера по управлению реактором и долей их высоких оценок взаимосвязанности понятий о ключевых характеристиках энергоблока. Эта доля субъективно менее выражена у операторов с относительно небольшим (до 2 лет) и наибольшим (10...25 лет) стажем, чем у операторов со стажем работы 3...9 лет [2].

Выявленная нелинейная зависимость между долей причинно-следственных взаимосвязей и стажем работы операторов может объясняться нарастающим стремлением операторов к представлению о максимально детерминированном, а значит и максимально контролируемом функционировании энергоблока. Операторам требуется немало лет работы, чтобы создать более адекватное представление о функционировании энергоблока как сложной эргатической (человеко-машинной) системы, которой присущи большое число входящих в нее разнородных подсистем, наличие между ними многочисленных взаимосвязей, а также проявления маловероятных и вовсе непредсказуемых свойств.

Применение предложенного в работе [2] подхода к оценке эффективности обучения требует сложного по организации многолетнего исследования, поскольку изменения длительные и факторы обучения трудно фиксировать. В работе [6] этот подход перенесен на «быстрое» обучение с использованием КТ. Предложена принципиальная схема интеллектуальной системы формирования КМ технологического объекта; создан и экспериментально проверен прототип интеллектуальной системы формирования КМ технологического объекта.

В настоящей работе, являющейся продолжением исследования [6], идея измерения динамики КМ проверена в эксперименте, укрепляющем за счет КТ ментальные представления оператора об объекте управления. Для его реализации потребовалось решить ряд прикладных и экспериментальных задач:

- разработать методику оценивания структурных изменений КМ;
- предложить и обосновать критерии изменения модели;
- подготовить и провести соответствующий психологический эксперимент;
- выявить зависимость успешности обучения и соответствующих характеристик КМ от личностно-психологических особенностей обучаемых.

Об оценке КМ (кластерный подход)

Оценка изменений в КМ требует построения формальной количественной меры различия моделей. В работе используется следующий специально разработанный метод.

Одной из составляющих КМ являются представления оператора о причинно-следственных связях в ТП

как отношениях между ключевыми характеристиками процесса (параметрами), определяющих влияние нештатных состояний различных аппаратов/узлов на работу остального оборудования. В предлагаемом подходе «влияние» оценивается в дискретной шкале от «0» (влияние отсутствует) до «6» (влияние максимальное). Совокупность влияний между всеми параметрами образуют матрицу $E=(e_{ij})$ размера $n \times n$, где n — число параметров.

Отметим, что существенным свойством влияния является его несимметричность, но далее для оценки величины «связи» между параметрами будем использовать симметризованные матрицы:

$$c_{ij} = c_{ji} = \frac{1}{2}(e_{ij} + e_{ji}).$$

Вектор-строкам матрицы C соответствуют точки в n -мерном пространстве, образующие некоторую фигуру с n вершинами. Расстояние между вершинами характеризует относительную схожесть соответствующих векторов. Группы близких вершин (кластеры) в свою очередь являются структурными признаками представлений о взаимовлиянии параметров.

Таблица 2

	A_1	A_2	...	A_{m_A}
B_1	$\frac{n(A_1 \cap B_1)}{n(A_1)}$	$\frac{n(A_2 \cap B_1)}{n(A_2)}$...	$\frac{n(A_{m_A} \cap B_1)}{n(A_{m_A})}$
B_2	$\frac{n(A_2 \cap B_1)}{n(A_2)}$	$\frac{n(A_2 \cap B_2)}{n(A_2)}$...	$\frac{n(A_{m_A} \cap B_2)}{n(A_{m_A})}$
...
B_{m_B}	$\frac{n(A_1 \cap B_{m_B})}{n(A_1)}$	$\frac{n(A_2 \cap B_{m_B})}{n(A_2)}$...	$\frac{n(A_{m_A} \cap B_{m_B})}{n(A_{m_A})}$

Для анализа различий в кластерных структурах рассмотрим следующую меру. Обозначим A_1, A_2, \dots, A_{m_A} — кластеры первой матрицы и B_1, B_2, \dots, B_{m_B} — второй, где m_A и m_B — число кластеров первой и второй матрицы, соответственно. Вычислим долю общих элементов множеств A_i и B_j относительно объема множества

$$A_i : \frac{n(A_i \cap B_j)}{n(A_i)}.$$

Получим матрицу размера $m_A \times m_B$, i -е столбцы которой отражают распределение элементов кластера A_i по кластерной структуре B (табл. 3).

Отметим, что сумма элементов в столбце всегда равна 1, так как каждый элемент A_i из обязательно содержится в каком-нибудь из множеств B_j . В то же время, чем сильнее элементы из A_i распределены по совокупности B_j , тем более равномерно значения элементов столбца будут «размазаны» по шкале [0,1]. Например, при $m_A=m_B=3$ и $n(A_i)=3$ наибольшая распределенность будет соответствовать случаю, когда по одному из трех элементов A_i окажется в B_1, B_2 и B_3 . С другой стороны, полному совпадению двух кластерных структур будет соответствовать матрица, состоящая только из чисел «1» и «0».

Для количественного выражения степени распределенности естественно использовать функцию энтропийного типа, например:

$$f_{A \subset B} = \sum_{i=1}^{m_A} \sum_{j=1}^{m_B} \frac{n(A_i \cap B_j)}{n(A_i)} \log_{10} \frac{n(A_i \cap B_j)}{n(A_i)}.$$

Такая функция принимает нулевое значение при полном совпадении кластерных структур, возрастает с нарастанием отличий в составах кластеров и достигает максимума в случае наибольшей размытости состава одной структуры по кластерам другой.

Аналогичным образом получается значение меры относительно множеств B_j :

$$f_{B \subset A} = \sum_{i=1}^{m_A} \sum_{j=1}^{m_B} \frac{n(A_i \cap B_j)}{n(B_j)} \log_{10} \frac{n(A_i \cap B_j)}{n(B_j)}.$$

В абсолютном выражении величины $f_{A \subset B}$ и $f_{B \subset A}$ зависят от числа кластеров в структурах A и B , а также их объемов. Поэтому для сравнения кластерных отличий вне зависимости от величин m_A , m_B , $n(A_i)$ и $n(B_j)$, длину вектора $(f_{A \subset B}, f_{B \subset A})^T$ необходимо нормировать по длине вектора энтропий максимального отличия:

$$f^* = 1 - \sqrt{\frac{f_{A \subset B}^2 + f_{B \subset A}^2}{f_{\max(A \subset B)}^2 + f_{\max(B \subset A)}^2}}, f \in [0, 1]. \quad (1)$$

Полученная таким образом величина характеризует взаимное сходство кластерных структур A и B в заданных величинами m_A , m_B , $n(A_i)$ и $n(B_j)$ рамках. В последующем введенная мера будет использована для экспериментального исследования эволюции представлений о ТП.

Экспериментальное исследование динамики КМ

Основная гипотеза исследования

Предлагаемый подход стоит в ряду исследований, направленных на выявление изменений в ментальных репрезентациях изучаемого объекта по мере профессионализации оператора. Помимо упомянутой ранее работы D. S. Burkolter укажем на многолетнее исследование, представленное в [7].

Теоретическая гипотеза, положенная в основу предлагаемого подхода, состоит в следующем:

— по мере обучения на КТ у оператора меняется КМ управляемого ТП;

— поскольку современные тренажеры обладают высокой степенью подобия реальной деятельности, есть основания предполагать, что такой же процесс происходит и в реальной практике оператора;

— оценить указанные изменения можно исследуя причинно-следственные и топологические («близостные») связи элементов изучаемой технической системы;

— эти изменения опосредованы личностными характеристиками обучаемых, определяющими успешность обучения.

Описание эксперимента

Для проверки сформулированных выше гипотез был проведен эксперимент с участием 17 испытуемых, студентов выпускного курса факультета химической технологии и экологии РГУ Нефти и газа им. И. М. Губкина. В рамках учебной программы студенты изучали устройство и функционирование типовой технологической установки атмосферной перегонки нефти. Эксперимент проводился в два этапа, по 4 академических часа каждый, с перерывом в 2 недели.

Во время первого занятия студенты под руководством преподавателя-эксперта изучали устройство технологической схемы, особенности протекающих в аппаратах физико-химических процессов и нормальный режим функционирования установки. Во время второго занятия испытуемые обрабатывали на КТ процедуры аварийного останова технологической установки. В начале второго занятия испытуемые заполняли анкету многофакторного личностного опросника Кеттелла.

В конце каждого занятия проводилось тестирование, которое представляло собой заполнение вышеописанной матрицы, оценивающей силу влияния между параметрами. Матрица содержала 13 ключевых параметров типовой технологической установки атмосферной перегонки нефти (расход сырой нефти из парка, температура сырья и др.). Студенты давали оценку степени влияния каждого параметра на каждый другой параметр по 7-балльной шкале от 0 («влияние отсутствует») до 6 «влияние очень сильное» с шагом 1 балл.

Формально выявленные количественные изменения в кластерных структурах испытуемых трудно оценить качественно, поскольку критерий «хорошей» структуры неизвестен. В этой связи эволюция КМ испытуемых

Таблица 3. Изменения в составе матриц влияния

Студент №	Средний балл по результатам предыдущего семестра	Доля сильных влияний (знач. 5 или 6), %		Доля сильных отличий от "эталона", %		Доля сильных отличий в ответах второго дня от первого, %
		1 день	2 день	1 день	2 день	
1	4,89	13	17	8	8	8
2	3,67	7	5	9	6	3
3	4,67	5	6	13	15	3
4	4,11	8	9	8	5	3
5	4,89	7	10	10	8	5
6	4,11	14	12	11	11	14
7	3,33	5	3	3	4	7
8	4,78	11	29	12	13	11
9	5	28	12	13	5	13
10	4,89	6	8	5	5	3
11	3,89	2	4	5	4	1
12	5	17	11	7	6	3
13	4,78	5	11	16	15	5
14	3,89	26	33	19	21	6
15	3,33	14	29	15	13	22
16	5	10	14	10	12	5
17	4,11	12	20	9	13	4
Среднее	4,4	11,0	13,6	10	10	7
Ср. кв. откл.	1	7	9	4	5	6

оценивалась по эталонной кластерной структуре, полученной по матрице взаимовлияний, заполненной инструктором обучения.

Результаты эксперимента

Анализ изменений в составе матриц

В табл. 3 отражены изменения в составе матриц влияния за 1 и 2 день тренинга. Сильные влияния можно рассматривать как центральное звено представлений оператора о ТП. Их доля в общей массе связей между параметрами традиционно рассматривается как структурный признак КМ. Исследователями многократно отмечалось, что на горизонте, измеряемом годами накопления опыта, с ростом опыта доля сильных влияний растет, достигает максимума, после чего заметно снижается с выходом на стабильный уровень [2].

В эксперименте изменения фиксировались в микро-масштабе (2 недели), и в среднем доля сильных влияний выросла. Однако статистически достоверного регулярного изменения этой доли не наблюдалось: разброс в выборках (среднеквадратическое отклонение) обоих дней эксперимента существенно превышает сдвиг среднего. Несмотря на довольно заметное изменение в матрицах испытуемых во второй день эксперимента по отношению к первому (в 7% случаев уровни влияния отличаются на ≥ 4 балла), сильные отличия от эталонной матрицы (≥ 4 баллов) менялись незначительно (оставаясь на уровне 10% в оба дня).

Анализ эволюции кластерных структур

Кластеризация векторов матрицы взаимовлияний проводилась алгоритмом иерархической кластеризации методом полной связи («метод дальнего соседа») при помощи программного пакета STATISTICA. Значения меры кластерного сходства f^* по (1) приведены в табл. 4.

Средний сдвиг оказался положительным, а расчет по критерию Вилкоксона показал статистическую достоверность положительного сдвига на уровне значимости 0,05. Это ключевой результат, достоверно показывающий приближение кластерной структуры испытуемых к структуре эксперта в результате компьютерного тренинга.

Личностные особенности формирования КМ у операторов

Исследования, посвященные роли личностных качеств в формировании у операторов КМ сложных эргатических систем, в настоящее время представлены крайне фрагментарно. Между тем, личностные качества наиболее отчетливо проявляются при работе человека в неопределенных и сложных ситуациях, в которых от него требуется принимать решения [8]. Именно

Таблица 4. Мера кластерного сходства

Студент №	Средний балл в учебе за семестр	Мера кластерного сходства, %	
		1 день	2 день
1	4,89	50	80
2	3,67	38	34
3	4,67	42	17
4	4,11	59	79
5	4,89	62	59
6	4,11	36	42
7	3,33	61	79
8	4,78	65	78
9	5	47	62
10	4,89	26	28
11	3,89	13	29
12	5	66	79
13	4,78	31	25
14	3,89	40	40
15	3,33	41	78
16	5	39	44
17	4,11	39	29
Среднее	4	44	52
Ср.кв.откл.	1	15	23

такие ситуации возникают при управлении оператором сложными эргатическими системами. Поскольку решения в таких ситуациях принимаются оператором на основе КМ, актуальным является изучение роли личностных качеств при формировании у оператора КМ и ее последующем использовании в управлении сложной эргатической системой.

Для изучения личностных качеств в настоящем исследовании была использована методика 16 PF Кетелла Р. (форма С) [9]. Вся выборка обучаемых была разбита на три примерно равные подгруппы по критерию склонности обследованных студентов к крайним (высоким/низким), средним и смешанным (край-

ним и средним) оценкам силы влияния параметров. Для выявления роли личностных качеств при формировании КМ наибольший интерес имеют результаты сравнения подгрупп студентов, которое осуществлялось с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни. Согласно полученным результатам, подгруппы, склонные к выставлению крайних и средних оценок, статистически достоверно различаются по фактору Q2 («Самодостаточность — социальность») ($p=0,016$). В то же время подгруппы, склонные к выставлению средних и смешанных оценок, показали достоверные различия по фактору Q3 («Контроль желаний — импульсивность») ($p=0,023$).

Содержательный анализ профилей личностных качеств в указанных подгруппах показывает, что студенты, склонные к выставлению крайних оценок, отличаются наиболее выраженными проявлениями самодостаточности и самостоятельности при принятии решений. Студенты этой подгруппы в меньшей степени ориентируются на групповое мнение; одновременно они в большей степени добиваются исполнения принятых решений и несут ответственность за их реализацию (фактор Q2). Их можно характеризовать как наиболее практичных и реалистично настроенных (фактор I), стремящихся держаться корректно, но отстраненно; они часто недооценивают собственные знания и компетентность, тщательно оценивают возможные последствия своего поведения (факторы O и N).

Студенты, склонные к выставлению средних оценок, отличаются меньшей самостоятельностью в принятии решений и в большей степени ориентируются на групповое мнение (фактор Q2). Они характеризуются более высокой самооценкой (фактор MD), большей готовностью к сотрудничеству и легкостью установления контактов с людьми (фактор A), а также большей организованностью и планомерностью в поведении, осознанием социальных требований

и стремлением к их исполнению, заботой о своей репутации (фактор Q3).

Таким образом, личностные качества оказывают влияние на оценку взаимосвязанности параметров сложной эргатической системы уже на самых первых этапах формирования ее КМ. То есть оценки силы взаимовлияния параметров эргатической системы определяются не только пониманием объективно существующих закономерностей ТП, но и личностными качествами человека, в частности, степенью его ориентированности на групповое мнение.

Обсуждение результатов

Предназначение КМ сложной эргатической системы состоит в том, чтобы дать оператору возможность действовать на основе понимания уже происшедших, происходящих и будущих событий в системе. В КМ должны содержаться знания о причинно-следственных связях процессов, происходящих в эргатической системе. Не случайно по субъективным оценкам операторов доля причинно-следственных связей в КМ сложной эргатической системы возрастает на первых этапах профессиональной деятельности.

Поэтому КТ операторов и введение этапа предтренажерной подготовки, специально направленной на развитие у операторов понимания причинно-следственных связей в ТП, является обоснованным и призвано существенно сократить время для достижения операторами такого понимания.

Результаты проведенного исследования позволяют поставить вопрос о своеобразии понимания операторами ТП, протекающих в сложных эргатических системах. Таким системам присущи нелинейные, нестабильные и даже случайные (нерасчетные), а потому и трудно предсказуемые взаимовлияния технологических подсистем и параметров [10]. Вследствие этого возникают ситуации, в которых образуется цепочка распространения возмущений. Локальные неисправности приводят к многочисленным изменениям на других участках ТП. Возможно появление так называемого «наложения отказов», когда одновременно возникают нескольких зависимых или независимых возмущений. Такие отказы маскируют друг друга, поэтому неисправности в первый момент выглядят совершенно не такими, какими являются на самом деле. Положение еще более осложняется вследствие значительного промежутка времени между симптомами и их причинами. В таких ситуациях операторы испытывают значительные трудности в восстановлении хронологической последовательности событий: какое из них было первичным, а какие — вторичными [11].

Обознов Александр Александрович — д-р псих. наук, проф., зав. лаб. инженерной психологии и эргономики, Гуцыкова Светлана Валерьевна — канд. псих. наук, научный сотрудник Института психологии РАН, Назин Владимир Александрович — вед. инженер отдела моделирования и компьютерного тренинга операторов ТП, Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, директор департамента высокотехнологичных решений и консалтинга ЗАО «Хоневелл»,

Миронова Анастасия Сергеевна — аспирант МФТИ. Контактные телефоны: (495) 683-58-30, 797-99-36.

E-mail: gutsykova@rambler.ru Victor.dozortsev@honeywell.com

По-видимому, понимание указанных особенностей функционирования сложной эргатической и определяет существенное снижение доли причинно-следственных связей в КМ у наиболее опытных операторов. По их представлениям, причинно-следственными можно считать только чуть более трети всех взаимовлияний параметров. Изучение возможностей понимания операторами протекания ТП в сложных эргатических системах требует дальнейших исследований.

Разумеется, в работе представлены только первые результаты масштабного исследования. Однако они позволяют убедиться, что по ходу тренинга происходят объективные изменения в ментальных репрезентациях операторов за счет формирования и укрепления концептуальной модели ТП. При этом указанные изменения опосредованы личными особенностями операторов.

Список литературы

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов ТП. М.: Синтег, 2009.
2. Обознов А.А., Чернецкая Е. Д., Бессонова Ю.В. Концептуальные модели атомной станции у операторов с разным профессиональным стажем / Психологический журнал. 2013. Т.34. № 4. С.47-57.
3. Назин В.А. Автоматизированные системы обучения персонала технологических установок // Автоматизация в промышленности. 2006. № 6. С. 10-14.
4. Дозорцев В.М., Назин В.А. Экспериментальное исследование операторской деятельности на базе компьютерных тренажеров // В кн.: «Современная экспериментальная психологии» в 2-х томах. Под ред. В.А. Барабанщикова. ИП РАН. М. 2011. Т. 2. С. 223-234.
5. Галактионов А.И. Системные исследования психических образов, формируемых оператором-технологом // Системный подход в инженерной психологии и психологии труда. М. Наука. 1992. С. 92-104.
6. Обознов А.А., Дозорцев В.М., Назин В.А., Гуцыкова С.В. Интеллектуальная система формирования у операторов ментальных репрезентаций технологического объекта // Росский научный журнал. 2013. № 7(38). С. 133-138.
7. Волкова Е.В. Единство дифференциально-интеграционных механизмов развития специальных способностей и креативности в контексте роста научных знаний // Психологический журнал. 2014. Т. 35. №1. С. 54-70.
8. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. М. ИП РАН. 2011.
9. Гуцыкова С.В. Структура личностных характеристик специалистов с различной успешностью деятельности // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2011. № 19. С. 40 -42.
10. Голиков Ю.Я. Методология психологических проблем проектирования техники. М.: Пер Сэ. 2003.
11. Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. М.: Энергоатомиздат. 2001.