

**Виктор Михайлович Дозорцев,**  
директор департамента  
высокотехнологичных решений ЗАО  
«Хоневелл» (Москва), д.т.н.

Сфера научных интересов:  
имитационное моделирование,  
усовершенствованное управление  
технологическими процессами,  
человеко-машинное взаимодействие,  
инженерная психология, когнитивная  
психология

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**В.М. Дозорцев (ЗАО «Хоневелл»),**

ЗАО «Хоневелл», тел.: +7 (985) 761 02 09, e-mail: [victor.dozortsev@honeywell.com](mailto:victor.dozortsev@honeywell.com)

**А.А. Обознов (Институт психологии РАН)**

Излагается подход к использованию имитационного моделирования в экспериментально-психологических исследованиях деятельности операторов сложных технологических процессов. Приводятся примеры пилотных исследований, обсуждаются будущие исследования. Дается краткий очерк использования компьютерных технологий в психологических экспериментах.

### **Введение**

Работа посвящена сравнительно новой теме исследований, находящейся на стыке, как может показаться, несвязанных научных направлений. Первое – имитационное моделирование (ИМ) – сугубо техническая область исследований и разработок, понимаемая достаточно широко. ИМ – это метод построения моделей, описывающих реальные объекты (процессы<sup>1</sup>) так, как они в тех же условиях проходили бы в действительности. Такие модели можно «проиграть» во времени в разных вариантах работы реального процесса с учетом возможного влияния внешних (возможно, случайных) воздействий. ИМ применяют в тех случаях, когда получение аналитических моделей процесса затруднено или не разработаны методы их аналитического расчета.

---

<sup>1</sup> Принимая во внимание предметную область исследования (управление сложными технологическими процессами), будем далее употреблять термин *процесс* вместо термина *объект*.

Вместе с тем, ИМ – это не только метод построения моделей, но и метод исследования, при котором реальный процесс подменяется моделью, с которой проводятся эксперименты по изучению исследуемого процесса. Причины такой подмены – дороговизна экспериментов на реальном процессе, трудности их организации и (не в последнюю очередь) соображения безопасности материальных активов и людей.

Говоря в более общем аспекте, ИМ – логико-математическое описание процесса, предназначенное для экспериментирования на компьютере в разнообразных целях: для проектирования, анализа, управления или оценки функционирования процесса.

С другой стороны, экспериментальная психология (ЭП) – это различные методы психологических исследований, проводимых экспериментальным путем. Согласно П.Фрессу, ЭП – это область психологических знаний, добытых посредством применения экспериментального метода [1]. По замечанию автора работы [2], именно внедрение эксперимента и связанных с ним измерительных методов на определенном этапе выделило психологию из философии в самостоятельную научную дисциплину.

Общепризнанный взгляд на ЭП трактует ее как самостоятельную науку, изучающую систему психологических методов, прежде всего – эмпирических [3, 4]. В современном понимании эксперимент как исследовательский метод может трактоваться узко и широко. В *узком смысле* это один из эмпирических методов наряду с наблюдением, тестированием, опросом и пр., отличающийся от них целенаправленным и регламентированным воздействием исследователя на изучаемый реальный процесс. В *широком смысле* эксперимент сливается с указанными методами, превращаясь в «исследовательскую процедуру, осуществляемую при контролируемых исследователем условиях» [5, с. 222].

Приведенные определения ИМ и ЭП позволяют предположить наличие потенциально общей для них зоны: ИМ воспроизводит реальность функционирования объекта, а ЭП исследует психологические феномены, опосредованные этой реальностью. Если сузить ИМ до моделирования работы сложных ТП, а ЭП – до инженерно-психологических экспериментов с их операторами, можно обозначить это пересечение следующим образом. Множество задач, связанных с изучением психологических механизмов деятельности операторов ТП, требуют воспроизведения в эксперименте условий функционирования процесса. В большинстве случаев реальный ТП не годится для проведения таких экспериментов – это крайне рискованно и дорогостояще. Использование в этих целях имитационных моделей (если модели такого уровня детальности и достоверности доступны) открывает заманчивые перспективы в этой новой и прорывной области исследований.

В работе излагается подход к организации и проведению таких экспериментов, приводятся их примеры, обсуждается будущее исследования. Дается также краткий очерк применения компьютерных технологий в психологических исследованиях.

### **Компьютерные технологии в экспериментальной психологии – краткий исторический очерк**

Появление первых компьютеров (тогда их называли ЭВМ) позволило на доступном тогда техническом уровне решать задачи, очевидные для психологов-исследователей. (Отметим, что психологи почти не использовали мейнфрэймы, им достались сразу мини-ЭВМ<sup>2</sup>). Началось с организации компьютерного предъявления

---

<sup>2</sup> Мэйнфрейм (от англ. *mainframe*) – в рассматриваемый период (1960-1980-е годы) большой универсальный компьютер с большим объемом оперативной и внешней памяти, предназначенный для использования в критически

стимулов и фиксации данных и результатов эксперимента. Это не только упрощало организацию эксперимента, но и стандартизировало процедуры, делая эксперимент строже, а результаты надежнее.

Следом, по мере доступности соответствующего программного обеспечения, развились компьютерная обработка и анализ данных, обнаружение зависимостей в полученных результатах. На идейном уровне была осмыслена задача автоматизированной проверки гипотез *путем моделирования и имитации* исследуемых психологических процессов. Однако в практическом плане решение этой задачи ограничивалось возможностями тогдашних ЭВМ имитировать сложную реальность.

Революция началась с появлением персональных компьютеров (ПК), которые были подключены к решению следующих основных задач [6]:

- контроль реакции испытуемого (в т.ч., с использованием совместимого с ПК оборудования – айтрекеров, регистраторов кожно-гальванической реакции и пр.);
- дальнейшая стандартизация экспериментальных процедур (эталонное воспроизведение стимульных сигналов, например, при тестировании ситуационного психологического состояния по методике Люшера);
- создание условия деятельности, требующих от оператора ориентировки в сложных стимульных ситуациях, включая построение *образно-концептуальных моделей* ситуации;
  - планирование полевого эксперимента;
  - проведение лабораторного психологического эксперимента;
  - сопоставление количественных и качественных характеристик деятельности оператора в *модельных* ситуациях, созданных посредством компьютера;
  - анализ испытуемым собственных когнитивных стратегий.

ПК позволили исследовать и проблемы, порожденные собственно компьютеризацией:

- изучение человеко-компьютерного взаимодействия (работы акад. О.К. Тихомирова [7]);
- исследование психологических последствий компьютеризации (включая, распространение Интернета);
- психологические исследования, проводимые посредством Интернета.

На заре компьютерной эры знаменитый когнитивный психолог Ф. Бартлетт (Frederic C. Bartlett, 1886–1969) полагал, что «от начала до конца психолог, использующий машину, может полагаться на собственную психологию, которая говорит ему, где применять и как интерпретировать возможности компьютера» (цит. по [6]). Позволим предположить, что в наши дни это утверждение может быть оспорено. Компьютер – это не только и даже не столько «вычислительное» подспорье психологу в эксперименте. Компьютерное моделирование позволяет воссоздать реалистические ситуации, сложные и богатые по психологической структуре восприятия, обработки и анализа стимулов, принятия и реализации решений, качественно изменяющие психологический эксперимент.

Такие модели зачастую имитируют реальность, доселе не наблюдаемую ни испытуемыми, ни экспериментаторами, что делает такое психологическое исследование уникальным.

### **Особенности сложных технологических процессов с точки зрения человеческого фактора. Задачи психологического исследования работы человека-оператора**

---

важных системах. Мини-ЭВМ в тот же период – компьютер, размеры которого варьировался от шкафа до небольшой комнаты, к концу 1980-х годов полностью вытеснен персональными компьютерами (микрокомпьютерами).

Управление сложными технологическими процессами – опасная и сложная деятельность, требующая высокого уровня умений и составляющих эти умения знаний и навыков. Некачественное управление ТП становится причиной почти половины всех аварий в перерабатывающих отраслях промышленности, потери от которых оцениваются в 2 млрд. долл. в год только в нефтепереработке и нефтехимии. Неслучайно поэтому стремление обеспечить снижение аварийности и повышение надежности и качества управления всеми доступными методами – от технических средств автоматизации до учета человеческого фактора (обучение операторов, эргономика рабочих мест, пр.).

Помимо огромной общей «цены вопроса» (размер возможного ущерба и, следовательно, повышенная ответственность операторов, опасность для их здоровья и жизни) выделим следующие особенности ТП как предмета деятельности операторов:

- сложная динамика в присутствии значительной инерционности: это означает, что процесс легко «срывается» в случае непредвиденных возмущений (или ошибок оператора), а восстановление рабочего состояния требует много времени и усилий;

- психологическая сторона вышеприведенной особенности – рутинность работы в сочетании со стремительным развитием нештатных ситуаций. Иногда говорят, что операторская работа состоит из «55 минут ничегонеделания, сменяющегося пятью минутами настоящего ада». Поддержание боеготовности на рутинных участках – ключевая проблема подготовки операторов;

- огромная размерность и существенная связность процесса (многие сотни взаимосвязанных управляющих входов, контролируемых выходов, наблюдаемых и ненаблюдаемых возмущений). Выработка и совершенствование концептуальной понятийной модели процесса – актуальная инженерно-психологическая задача;

- слишком высокая скорость развития ситуаций, чтобы полностью просчитать последствия вмешательств;

- зашумленность наблюдений, «невоспроизводимость» статических и динамических состояний. Это не позволяет использовать технологические эксперименты на объекте в задаче обучения операторов. Ничего повторить в точности на реальном объекте невозможно; ИМ остается практически единственным инструментом воспроизведения поведения процесса в реалистических условиях;

- разнообразие этапов операторской деятельности и разнородность психических процессов, обеспечивающих эти этапы. Согласно модели, предложенной в работе [8], деятельность оператора по управлению сложными ТП представляет собой многостадийный процесс, включающий обнаружение отклонений от нормального режима, диагностирование причин этих отклонений, планирование и реализацию компенсирующих действий. Цикл повторяется по мере появления новой информации о развитии ситуации. Работа оператора характеризуется также разнообразием задействованных психических механизмов – от восприятия, внимания и памяти до когнитивных (мыслительных) процессов принятия решений. Реализация такой деятельности требует от оператора очень высокого уровня подготовки.

Можно выделить три основных направления усилий исследователей и разработчиков, связанные с поддержкой операторской деятельности:

- исследование ее специфики, определяющей риски управления ТП человеком;
- проверка систем управления без ущерба для производства; создание среды управления, обеспечивающей эффективную и безопасную работу оператора;
- обучение персонала управлению в нештатных и аварийных ситуациях.

Указанные задачи все чаще решаются на базе высокоточных имитационных моделей ТП и высокоточного эмулирования операторской среды. Так, мировой рынок компьютерных тренажеров для промышленности углеводородов оценивается в 500 млн. долл. в год. Существенным компонентом решения этих задач являются психологические и психолого-педагогические исследования (включая экспериментальные с имитацией работы ТП).

Желание заменить столь дорогостоящий и опасный процесс его имитационной моделью совершенно оправдано при условии, что удастся обеспечить ее адекватность. Критерием адекватности может служить психологическое подобие операторской деятельности в тренинге и в реальном управлении [9]. При обеспечении высокого уровня подобия применение ИМ ускоряет и удешевляет решение вышеперечисленных психологических задач.

Представляется, что за обозначенным исследовательским подходом будущее, хотя, как таковой, он четко не сформулирован; нет и соответствующей методологии. Основная причина отсутствия серьезного корпуса работ на рассматриваемую тему – недоступность высококачественных моделей (они дороги, разработчики и пользователи не торопятся делиться ими с психологами). Только появление объединенных команд исследователей (специалистов по моделированию, тренингу, инженерных психологов) поможет преодолеть это ограничение. В то же время неправильно было бы утверждать, что в «доимитационную эпоху» ничего не предпринималось. Известны психологические эксперименты на специальных стендах [10] и остроумные эксперименты по исследованию предметного оперативного образа Д.А. Ошанина [11]. С развитием средств моделирования экспериментальные стенды ушли в прошлое; их заменяют компьютерные системы на базе ИМ. Следующий раздел работы посвящен примерам применения таких систем.

### **Примеры ИМ в инженерно-психологических экспериментах**

#### **3.1. Обоснование эффективности экологических интерфейсов**

Интерфейс оператора – важнейший элемент системы управления ТП, посредством которого оператор получает практически всю информацию о ТП и осуществляет управление им. Традиционные интерфейсы строятся в соответствии с формальной структурой технологического объекта (рис. 1) и вполне удобны для управления в нормальных режимах. Однако они неэффективны при наступлении аварийных ситуаций, которые развиваются не по жесткой структуре процесса, а в соответствии с его физико-химическими особенностями. Идея экологического интерфейса [12] – усилить эргономические характеристики традиционного интерфейса и дополнить его специальными средствами, облегчающими задачу диагностики причин нарушений и компенсации их последствий – удобной навигацией «вдоль» развития нештатной ситуации, показателями материального и теплового баланса и пр. (рис. 2).

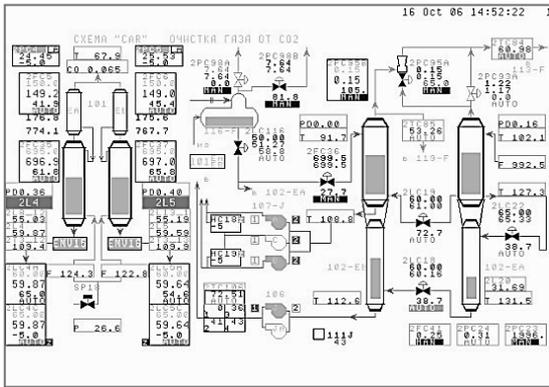


Рис.1. Пример традиционного операторского интерфейса

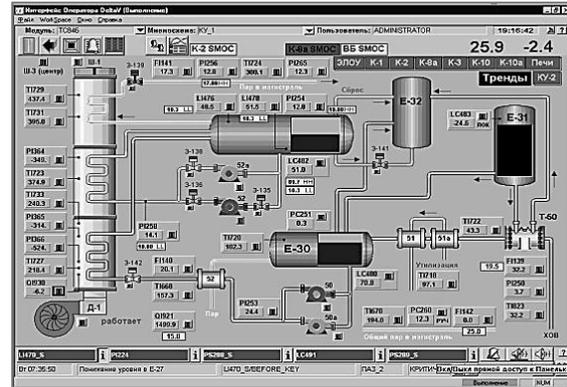


Рис.2. Пример экологического операторского интерфейса

Экологические интерфейсы разрабатываются и апробируются все шире, разработчики сообщают об их эффективности, хотя строгих исследований на этот счет не проводилось. На реальном объекте такое исследование провести нельзя из-за опасности реализации одновременно двух типов интерфейсов, а также из-за невозможности учесть исторические изменения реальной ситуации и, следовательно, сложности задачи оператора при переходе на альтернативный интерфейс. Организовать такой эксперимент с помощью ИМ существенно легче [13, 14]. План эксперимента приведен в табл. 1.

Четыре группы испытуемых (две экспериментальные и две контрольные) состояли из трех человек каждая – все студенты старших курсов профильных вузов в возрасте от 20 до 22 лет, с базовыми знаниями в области технологии, но без предварительной информации о моделируемом ТП. Группы усреднялись по полу испытуемых и курсу обучения в вузе. Для каждой группы измерялось среднее время диагностики нарушений хода ТП по 30 смоделированным нештатным ситуациям в каждой из двух серий. Проверялась гипотеза снижения среднего времени диагностики при переходе на экологический интерфейс.

Табл.1. План эксперимента № 1. X – переход на экологический интерфейс; X' – возвращение к традиционному интерфейсу; O<sub>1-8</sub> – средние времена решения задачи диагностики по группам

Эксперимент 1		O <sub>1</sub>	X	O <sub>2</sub>
Контроль 1		O <sub>3</sub>		O <sub>4</sub>
Эксперимент 2	X	O <sub>5</sub>	X'	O <sub>6</sub>
Контроль 2	X	O <sub>7</sub>		O <sub>8</sub>

Для первой экспериментальной и первой контрольной группы (две первые строки табл.1) проводилось предварительное тестирование (результаты O<sub>1</sub> и O<sub>3</sub>, соответственно). Затем после небольшого перерыва для экспериментальной группы вводился экологический интерфейс (воздействие X), а для контрольной группы интерфейс не менялся. Как и следовало ожидать, O<sub>1</sub> >> O<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> >> O<sub>4</sub>, что отражает действие эффекта научения (вторую серию задач все испытуемые решали значительно быстрее).

Для подтверждения экспериментальной гипотезы сравнивались значения  $\Delta_{12} = O_1 - O_2$  и  $\Delta_{34} = O_3 - O_4$ , что нивелировало эффект научения и возможную

неравномерность групп, неучтенную при рандомизации. Выяснилось, что на статически достоверном уровне (значимость  $t$ -критерия равна 0.01)  $\Delta_{12} > \Delta_{34}$ .

План эксперимента для второй экспериментальной и второй контрольной группы (третья и четвертая строки табл. 1) был «обратным»: для обеих групп сразу вводился экологический интерфейс, а после перерыва для экспериментальной группы возвращался традиционный интерфейс (воздействие  $X'$ ), в то время как вторая контрольная группа продолжала работу с экологическим интерфейсом. Сравнивались значения  $\Delta_{56} = O_5 - O_6$  и  $\Delta_{78} = O_7 - O_8$ . Эффект научения и в этом случае приводил к тому, что  $O_5 \gg O_6$  и  $O_7 \gg O_8$ , однако на статически достоверном уровне  $\Delta_{56} < \Delta_{78}$ , то есть отказ от экологического интерфейса увеличивал время диагностики.

Сравнение первых серий для второй экспериментальной и первой контрольной группы (третья и вторая строки табл. 1) позволил уйти от влияния предварительного тестирования: на статически достоверном уровне  $O_5 < O_3$  и  $O_6 < O_4$ , т.е. испытуемые, начавшие работать сразу в экологическом интерфейсе, диагностировали неисправности быстрее тех, кто работал в жестком интерфейсе.

Зафиксирован также результат  $O_5 < O_1$ , поскольку первая экспериментальная группа также может рассматриваться как контрольная по отношению ко второй экспериментальной в исследовании без предварительного тестирования.

Отметим преимущества, которые предоставляет использование в описанном эксперименте компьютерного тренажера на основе ИМ процесса. Имитируемая «технологическая» часть в каждой из 60 экспериментальных ситуаций с абсолютной точностью повторялась для всех 12 испытуемых, участвовавших в эксперименте. Это практически невозможно при работе на реальном объекте, где такая повторяемость существенно ограничена действием возмущений и зашумленностью предъявляемых переменных. При этом если необходимо, эксперименты могут проводиться параллельно.

### 3.2. Полезность пред-тренажерной подготовки

Очевидно, что управление сложным технологическим процессом невозможно без достаточного знания операторами его динамики и причинно-следственных связей. Столь же неэффективна без указанных знаний и навыков работа с тренажерной моделью, хотя это и безопасно для реального оборудования. Преодолению такой ситуации служат системы «пред-тренажерной» подготовки операторов, в частности, систем формирования навыка диагностики нарушений хода ТП.

Сложность реализации полноценного тренинга эффективных стратегий диагностики связана с необходимостью разрешить следующие проблемы:

1) обеспечить богатую и доступную симптоматику неисправностей (матрицу причинно-следственных связей), которая не ограничивалась бы только экспертными оценками;

2) гарантировать положительный перенос получаемых навыков за счет обеспечения адекватности предлагаемой операторам симптоматики и воспроизведения в тренинге адекватных механизмов формирования навыков;

3) мотивировать оператора на совершенствование стратегии поиска.

Одна из систем, решающих указанную задачу, получила название «Диагност» [15]. Тренинг в «Диагносте» осуществляется в форме игры с оператором, в ходе которой система последовательно «загадывает» одну из причин отклонения и осуществляет так называемый «начальный вброс» (случайный или заранее определенный) – т.е. сообщает пользователю об изменении некоторого технологического параметра вследствие наступления загаданной причины (рис.3). Задача оператора – отобрать причины, не противоречащие уже имеющейся

симптоматике (на первом шаге – начальному «вбросу»), сформировать гипотезу о возможной причине неисправностей и сформулировать следующий информационный запрос к системе. Решить задачу следует за минимально возможное число информационных запросов<sup>3</sup>.

В любой момент оператор может дать ответ, если посчитает, что правильно определил загаданную причину. Если ответ оказывается верным, игра завершается, и оператору выдается оценка решения. При неверном ответе оператор получает уведомление об ошибке и может продолжить решение. Ответ может быть ошибочным в двух случаях: 1) либо уже проверенных симптомов недостаточно для однозначного определения нарушения (*мало информации*), 2) либо какой-нибудь из уже запрошенных параметров ведет себя иначе, чем в предполагаемой оператором причине (*ошибка оператора*).

Оператор обеспечивается тремя видами оценки: оценкой выбранной гипотезы; оценкой текущего информационного запроса (по нескольким критериям оптимальности); оценкой всей игры (суммарная стоимость всех запросов и проверок гипотез в сравнении со стоимостью «оптимальной» диагностики).

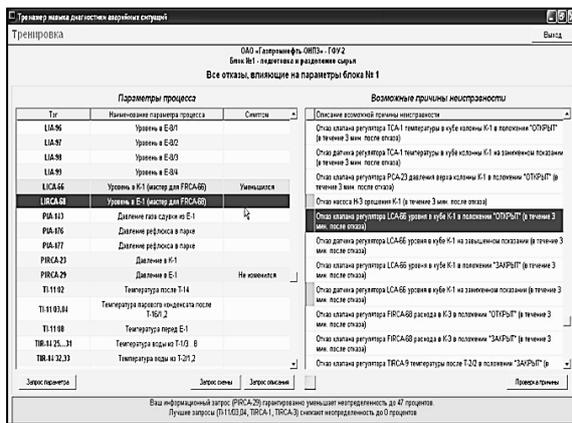


Рис.3. Кадр «Игра» системы «Диагност»

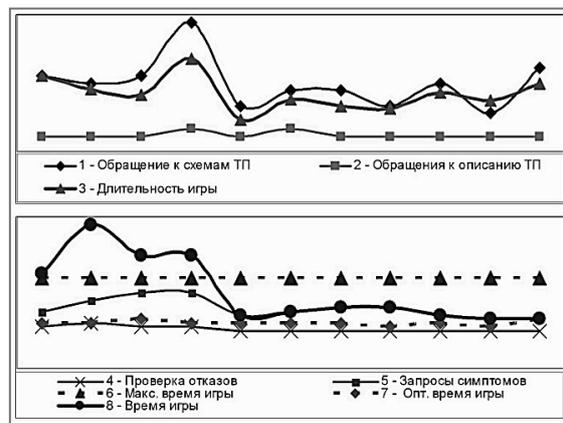


Рис.4. Результаты обучения на системе «Диагност»

«Диагност» был опробован в лабораторных условиях, а также в тренинге операторов на крупных российских нефтеперерабатывающих заводах. Опрос обучаемых и анализ протоколов тренинга, автоматически поддерживаемых системой, позволяет утверждать (рис. 4), что с увеличением числа игр:

- 1) уменьшается число обращений к схемам и текстовым описаниям процесса (ТП становится все более «изученным»);
- 2) снижается физическое время игры, поскольку оператор научается решать задачу диагностики;
- 3) и, главное, изменяется стратегия решения, что выражается в сведении практически «на нет» числа проверок ошибочных причин и в снижении числа необходимых для решения запросов симптомов.

Это не снимает, однако, проблемы обоснования эффективности использования системы «Диагност» в качестве специального средства подготовки перед компьютерным тренингом или реальной работой. С этой целью был проведен эксперимент, в котором участвовали две группы испытуемых – студенты старших

<sup>3</sup> Дефицит информации в таком подходе приравнивается к дефициту времени на принятие решений, т.е. предполагается, что в сложной ситуации оператор может не успеть воспринять и/или переработать весь имеющийся объем информации

курсов и выпускники профильных вузов (по 3 человека в каждой группе). Группы усреднялись по полу, стажу обучения или работы испытуемых. План эксперимента приведен в табл. 2.

Табл.2. План эксперимента № 2. X – обучение с помощью системы «Диагност»;  $O_{1-5}$  – средние времена решения задачи диагностики по группам

Эксперимент	X	$O_1$	$O_2$
Контроль	$O_3$	$O_4$	$O_5$

Экспериментальная группа сначала обучалась на «Диагносте» (воздействие X), а затем, после часового перерыва, решала диагностические задачи на тренажере (решено было по 8 задач, среднее время решения -  $O_1$ ). После двухдневного перерыва (для проверки закрепления навыка) эта же группа решала на тренажере новую серию задач (среднее время решения –  $O_2$ ). При этом контрольная группа не работала с «Диагностом», а сразу обучалась на тренажере, проведя три серии диагностики, разделенные часовым и двухдневным перерывом (среднее время решения в сериях –  $O_3$ ,  $O_4$  и  $O_5$ , 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.

Были получены следующие статистически достоверные результаты (уровни значимости  $t$ -критерия варьировали от 0.01 до 0.05 при выборке в 24 диагностические задачи в каждой группе для каждой серии):

а)  $O_2 < O_1$  и  $O_5 < O_4 < O_3$  (эффект научения, сохраняющийся в обеих группах при длительном перерыве и существенном обновлении задания);

б)  $O_1 \ll O_3$  (предтренажерное обучение резко улучшает первую серию на тренажере);

в)  $O_1 \ll O_4$  и  $O_1 < O_5$  (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.

Отметим двойкий эффект использования тренажера в описанном эксперименте. На этапе сравнения результатов обучения экспериментальной и контрольной групп на тренажере (первые две серии) тренажер выступал в роли именно самого себя, а система «Диагност» – в качестве средства предтренажерного обучения, основанного на упрощенной модели технологического объекта (на матрице причинно-следственных связей). На этом этапе, с точки зрения внешней валидности<sup>4</sup>, можно говорить об эксперименте полного соответствия<sup>5</sup>. В третьей серии, перед которой в эксперименте делался значительный перерыв и в ходе которой в число диагностических задач подмешивались ранее не встречавшиеся, тренажер имитировал реальный объект (как это было в эксперименте с экологическим интерфейсом). Ясно, что такой «двойной» эксперимент принципиально невозможно провести на реальном объекте, даже если отвлечься от связанных с этим опасностей и экономических потерь.

<sup>4</sup> Внешняя валидность эксперимента определяет возможность переноса его результатов на другое время, место, условия и группы людей. Она тем выше, чем репрезентативней (ближе к реальной ситуации) эксперимент, и чем типичнее сама реальная ситуация. Репрезентативность тренажерного эксперимента обеспечивается высоким уровнем подобию тренажера и реального процесса, а типичность моделируемых ситуаций – квалификацией технологов-экспертов, привлекаемых к описанию диагностических задач.

<sup>5</sup> В этом случае экспериментальная ситуация тождественна тому, как бы она происходила «в действительности».

### 3.3. Формирование концептуальных представлений о ТП

Управление сложными технологическими процессами предполагает наличие у человека-оператора их ментальных репрезентаций – совокупности знаний, сведений и представлений о функционировании ТП, возможных нарушениях, параметрах рабочей среды, правилах принятия решений, программах собственных управляющих действий и их последствиях. Такие ментальные репрезентации принято называть *концептуальными моделями* (КМ).

Знания о развитии у операторов КМ сложных ТП до сих пор фрагментарны, однако они позволяют определить опорные точки для создания целостной картины развития КМ. В процессе обучения (самообучения) и получения профессионального опыта у операторов последовательно создаются несколько видов КМ – технологические, топологические, функциональные, информационные, алгоритмические и образные модели. Каждая из них формируется на основе присущих только ей семантически целостных единиц. Так, в технологических единицах представлены сведения об элементах ТП и технического оборудования, а в функциональных – сведения о состояниях элементов ТП. Между семантически целостными единицами могут устанавливаться технологические, причинно-следственные, алгоритмические и пространственные взаимосвязи. Эмпирически показано, что определенным взаимосвязям соответствуют только определенные виды КМ [16].

В работе [17] предложен подход к оценке эффективности обучения путем измерения изменений в КМ, однако он требует сложного по организации многолетнего исследования, поскольку изменения длительные и факторы обучения трудно фиксировать. В работе [18] этот подход перенесен на «быстрое» обучение с использованием компьютерного тренинга (КТ) на базе ИМ процесса. Идея измерения изменений КМ проверена в эксперименте [19], укрепляющем за счет КТ ментальные представления оператора о процессе. Для его реализации потребовалось решить ряд прикладных и экспериментальных задач:

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

В работе [19] предложена формальная количественная мера различия моделей, основанная на сравнении кластерных структур, образуемых вектор-строками матрицы взаимовлияний ключевых параметров процесса<sup>6</sup>. Указанные вектор-строки соответствуют точкам в  $n$ -мерном пространстве ( $n$  – количество параметров), образующим некоторую фигуру с  $n$  вершинами, расстояние между которыми характеризует относительную схожесть соответствующих векторов. Группы близких вершин (кластеры) в свою очередь являются структурными признаками представлений о взаимовлиянии параметров.

#### *Основная гипотеза исследования*

Теоретическая гипотеза, лежащая в основе предлагаемого подхода, состоит в следующем:

- по мере обучения на тренажере с использованием ИМ у оператора меняется КМ управляемого ТП;

---

<sup>6</sup> В предлагаемом подходе «влияние» одного параметра на другой оценивается в дискретной шкале от «0» (влияние отсутствует) до «6» (влияние максимальное).

- 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*

В эксперименте участвовало 17 испытуемых, студентов-выпускников профильного вуза. В рамках учебной программы студенты изучали устройство и функционирование типовой технологической установки атмосферной перегонки нефти. Эксперимент проводился в два этапа 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 отрабатывали на тренажере 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 матрицы взаимовлияний, содержащей 13 ключевых параметров процесса.

Формально выявленные количественные изменения в кластерных структурах испытуемых трудно оценить качественно, поскольку критерий «хорошей» структуры неизвестен. В этой связи изменения КМ испытуемых оценивались по эталонной кластерной структуре, полученной по матрице взаимовлияний, заполненной инструктором обучения.

#### *Результаты эксперимента*

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 [17].

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

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

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Для выявления роли личностных качеств в изменениях КМ сравнивались подгруппы студентов, склонных к выставлению крайних, средних и смешанных оценок взаимовлияния параметров. Согласно полученным с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни результатам [19], подгруппы крайних и средних оценок статистически достоверно различаются по фактору Q2 (“Самодостаточность – социабельность”) методики 16 PF Кетелла Р ( $p=0,016$ ). В то же время подгруппы 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. Они в меньшей степени ориентируются на групповое мнение; одновременно они в большей степени добиваются исполнения принятых решений и несут ответственность за их реализацию. Они наиболее практичны и реалистично настроены, стремятся держаться корректно, но отстранено, часто недооценивают собственные знания и компетентность, тщательно оценивают возможные последствия своего поведения.

Студенты, склонные к выставлению средних оценок, отличаются меньшей самостоятельностью в принятии решений и в большей степени ориентируются на групповое мнение. Они обладают более высокой самооценкой, большей готовностью к сотрудничеству и легкостью установления контактов с людьми, а также большей

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	4,9	13	17	8	8	8
2	3,7	7	5	9	6	3
3	4,7	5	6	13	15	3
4	4,1	8	9	8	5	3
5	4,8	7	10	10	8	5
6	4,1	14	12	11	11	14
7	3,3	5	3	3	4	7
8	4,8	11	29	12	13	11
9	5	28	12	13	5	13
10	4,9	6	8	5	5	3
11	3,9	2	4	5	4	1
12	5	17	11	7	6	3
13	4,8	5	11	16	15	5
14	3,9	26	33	19	21	6
15	3,3	14	29	15	13	22
16	5	10	14	10	12	5
17	4,1	12	20	9	13	4
Среднее	4,4	11,0	13,6	10	10	7
Ср.кв.откл.	1	7	9	4	5	6

организованностью и планомерностью в поведении, осознанием социальных требований и стремлением к их исполнению, заботой о своей репутации.

Таб. 4. Мера кластерного сходства

Студент №	Средний балл в учебе за семестр	Мера кластерного сходства	
		1 день	2 день
1	4,9	50	80
2	3,7	38	34
3	4,7	42	17
4	4,1	59	79
5	4,9	62	59
6	4,1	36	42
7	3,3	61	79
8	4,8	65	78
9	5	47	62
10	4,9	26	28
11	3,9	13	29
12	5	66	79
13	4,8	31	25
14	3,9	40	40
15	3,3	41	78
16	5	39	44
17	4,1	39	29
Среднее	4.4	44	52
Ср.кв.откл.	1	15	23

Таким образом, личностные качества оказывают влияние на оценку взаимосвязанности параметров сложного ТП уже на самых первых этапах формирования ее КМ. То есть оценки силы взаимовлияния параметров процесса 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 сложного ТП состоит в том, чтобы дать оператору возможность действовать на основе понимания уже происшедших, происходящих и будущих событий в процессе. В КМ должны содержаться знания о причинно-следственных связях между показателями ТП. Не случайно по субъективным оценкам операторов доля причинно-следственных связей в КМ сложного ТП возрастает на первых этапах профессиональной деятельности. Компьютерный тренинг операторов и введение этапа предтренажерной подготовки, специально направленной на развитие у операторов понимания причинно-следственных связей в ТП, являются обоснованными и позволяют существенно сократить время достижения операторами такого понимания.

Результаты эксперимента, пожалуй, впервые позволяют убедиться, что по ходу тренинга происходят объективные изменения в ментальных репрезентациях операторов за счет формирования и укрепления концептуальной модели сложного ТП. При этом указанные изменения опосредованы личными особенностями операторов.

#### **Заключение и задачи на будущее**

Разумеется, в работе представлены только первые примеры использования технологии ИМ в ЭП. Они потребовали от исследователей серьезных усилий теоретического, технического и организационного характера, касающихся весьма различных по своей природе составляющих. Первые результаты вдохновляют, поскольку показывают, что прежде невозможные (по соображениям безопасности и дороговизны) эксперименты могут проводиться путем замещения реального процесса

его имитационной моделью при сохранении высокой степени внешней валидности, и, следовательно, переноса выводов на реальную практику.

В планах авторов и возглавляемых ими исследовательских коллективов продолжение, усиление и развитие подходов, приведенных в примерах 3.1-3.3. Это связано с проведением полномасштабных психологических экспериментов с использованием систем, построенных на ИМ процессов. Одна из важнейших практических задач, которая может быть разрешена с помощью ИМ, – организация компьютерного тренинга с обратной связью по объективным результатам обучения (изменениям КМ). Это позволит индивидуализировать тренинг, повысить его качество и эффективность, и, в конечном итоге, повысить безопасность и эффективность производства.

В заключении отметим важность более широкого взаимодействия сообщества разработчиков систем ИМ и инженерных психологов для развития пока новой, но столь перспективной области научных исследований.

### Литература

1. Фресс П. Экспериментальный метод // Экспериментальная психология / Ред. П. Фресс и Ж. Пиаже. Вып. I–II. М., 1966. С. 99-156.
2. Никандров В.В. Экспериментальная психология. Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Речь», 2003.
3. Дружинин В. Н. Экспериментальная психология. М., 1997.
4. Корнилова Т. В. Введение в психологический эксперимент. М., 1997.
5. Иванова И. И., Асеев В. Г. Методология и методы психологического исследования // Методологические и теоретические проблемы психологии / Отв. ред. Е. В. Шорохова. М., 1969. С. 218-245.
6. Эксперимент и квазиэксперимент в психологии. Под ред. Т. В. Корниловой – СПб.: Питер, 2004.
7. Тихомиров О.К., Бабанин Л.Н. ЭВМ и новые проблемы психологии. М.: Изд-во МГУ, 1986.
8. Дозорцев В.М. Обучение операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Приборы и системы управления. 1999. №8. 61-70.
9. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. – М., Синтег, 2009.
10. Dunkan K.D. Analytical Techniques in Training Design // In *The Human Operator in Process Control*, Eds. E. Edwards and F.P. Lees – L., 1974. Pp. 283-319.
11. Ошанин Д.А. Предметное действие и оперативный образ. М.-Воронеж, 1999.
12. Vicente K.J., Rasmussen, J. Ecological interface Design: Theoretical Foundations // IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics. 1992. V.22. No 4. Pp. 589-606.
13. Дозорцев В.М., Агафонов Д.В., Кузина Н.В. Дифференциальная оценка влияния нововведений в тренинге операторов технологических процессов // Сб. Трудов 18 Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях», Казань, 2005. Т.10. С. 155-157.
14. 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. – Изд-во «Институт психологии РАН». М., 2011. Том 2. Глава 44. С. 223-234.
15. Dozortsev V.M., Nazin V.A. New Approach to Training of Technical Systems Faults Diagnostic Skills: Use of Probabilistic Models // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, 2009. Pp.701-706.

16. Галактионов А.И. Системные исследования психических образов, формируемых оператором-технологом / Системный подход в инженерной психологии и психологии труда. М. Наука. 1992. С. 92-104.
17. 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.
18. Обознов А.А., Дозорцев В.М., Назин В.А., Гуцыкова С.В. Интеллектуальная система формирования у операторов ментальных репрезентаций технологического объекта // Российский научный журнал. 2013. № 7(38). С. 133-138.
19. V. Dozortsev, V. Nazin, A. Oboznov, S. Gutsykova, A. Mironova. Evaluation of the Process Operator Knowledge Formation Resulting from Computer-Based Training // In Proceedings of the ECEC'2015-EUROMEDIA'2015-FUBUTECH'2015 Conference (Lisbon, Portugal, April 27-29, 2015). Pp. 118-123.