

**М. А. Бояркин, В. А. Шапцев**

## **ОБ ОДНОМ ИЗ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ "ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА" НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

*Работа посвящена поиску решения проблемы «человеческого фактора», все еще актуальной в сложных системах управления добычей нефти и газа. Обоснована необходимость создания комплексной имитационной модели, отображающей поведение оператора в АСУ. Такая модель позволит создавать адекватные сценарии работы оператора, например, SCADA-систем и производить их оптимизацию по критерию минимума неадекватных действий оператора в период «разладки» объекта управления, а также реализовывать тестирующий тренинг оператора-диспетчера. Предлагается рассматривать проблему человеческого фактора с позиций информационной экологии человека.*

### **Введение**

Развитие информационных технологий, повышение степени автоматизации и соответствующее перераспределение функций между человеком и техникой пока не привели к решению проблемы взаимодействия человека-оператора и системы управления, а отчасти даже обострили ее. Об этом свидетельствуют результаты анализа чрезвычайных ситуаций. Расследование и анализ большинства аварий и происшествий в нефтегазовой промышленности, авиации, наземном и водном транспорте, энергетике, часть из которых привела к катастрофическим последствиям, показали, что если в 60-х годах ошибка человека являлась первопричиной лишь 20 % инцидентов, то в 90-х годах их доля ввиду человеческого фактора (ЧФ) возросла до 80 % [8, 10].

Одной из ключевых причин проблемы ЧФ является отсутствие персонала, способного принимать в эксплуатацию современные системы автоматизации [9]. Среди других причин — снижение технологической дисциплины, притупление бдительности при долговременном благополучии и т. п. Становится очевидной потребность в квалифицированном персонале, который может принимать ответственные решения, досконально знает и умеет использовать весь огромный потенциал современной техники. В то же время консоль оператора должна содействовать пребыванию его в активном состоянии, адекватному реагированию в нештатных ситуациях. К сожалению, как показывает опыт, уровень подготовки специалистов, занятых в АСУ нефтегазового комплекса, зачастую недостаточен. В результате внедрение современных технологий автоматизации на объектах этого комплекса не только дает очевидные преимущества, но и выдвигает ряд новых задач: повышение уровня и новые методы обучения и переподготовки кадров, совершенствование процесса взаимодействия оператора с консолью АСУ.

### **1. Традиционный подход к решению проблемы**

Основным подходом к решению рассматриваемой проблемы является оптимальное распределение функций между человеком и техникой, повышение эффективности деятельности оператора путем улучшения условий его труда (эргономическое направление). Со времени возникновения проблемы (50–60-е гг.) распределение функций между оператором и автоматикой менялось [8]. Первоначально оно было сформулировано в работах П. М. Фиттса в виде перечня сравнительных возможностей человека и машины. Необходимость распределения функций была поставлена под сомнение Н. Джорданом, выдвинувшим идею взаимодополняемости человека и машины. Такое же отношение к проблеме выразили У. Синглтон, В. Я. Дубровский и др. В результате определились два направления ее решения.

Представители **первого** направления предлагали новые принципы организации совместной работы человека и техники:

- принцип активного оператора в системе «человек — машина» (Н. Д. Завалова, Б. Ф. Ломов);
- принцип динамического или адаптивного распределения функций между оператором и машиной (В. Ф. Венда, В. М. Ахутин и др.).

**Второе** направление, исходившее из критического отношения к постановке самой проблемы, сводилось к обсуждению вопросов распределения функций, задач, операций и т. д. (К. А. Кук, К. Корбридж и др.).

Ключевым аспектом традиционных подходов являлось определение роли оператора в АСУ. Привлекались инженерно-психологические методы. При этом главным признан антропоцентрический подход к человеку и технике (А. Н. Леонтьев, Б. Ф. Ломов, Н. Д. Завалова, В. А. Пономаренко, Ч. Э. Биллингс, Б. Х. Кантович и др.), противопоставляемый машиноцентрическому, или техноцентрическому, подходу [8]. Суть антропоцентрического подхода ограничивалась обостренным вниманием к дружелюбности интерфейса консолей АСУ.

Следует отметить, что интенсивное внедрение средств удаленного мониторинга объектов управления, в частности, в нефтегазовом комплексе (НГК) посредством телевизионных средств и SCADA-систем не снижает актуальности проблемы человеческого фактора (ПЧФ) [8].

### **2. Предлагаемый подход к решению проблемы**

В последнее время появились работы (например, [5]) о целесообразности включения в АСУ методов искусственного интеллекта (ИИ). Представляется также, что ПЧФ станет предметом информационной экологии человека [4, 12, 13], нового научного направления. Предлагаем решать проблему именно с этих точек зрения. Проблемную область ограничим автоматизированными объектами НГК.

По мнению специалистов промышленности [3], интеллектуальное управление должно отвечать следующим требованиям: способность к обучению и адаптации; повышенная живучесть; простота управления сложным объектом; способность к включению новых компонентов, обеспечивающих лучшие решения в условиях ограничений, накладываемых аппаратно-программными средствами. ИИ предлагает множество методов реализации этих требований. Развитие прикладных аспектов теории интеллектуальных систем и теорий нечетких выводов стали источником новых возможностей таких систем. При этом следует обратить внимание главным образом на то, как повысить адекватность действий оператора по предотвращению чрезвычайных ситуаций (ЧС) либо в условиях таких ситуаций. Средства ИИ могут и должны обеспечивать во время рабочей смены жизненный тонус оператора, соответствующий его функциональным обязанностям. На эти же средства возлагаются задачи предсказания состояния оператора и управляемого объекта.

Важно отметить, что эргономически **комфортные** условия работы оператора не являются достаточными (а иногда неадекватны) для решения ПЧФ. Это демонстрируют продолжающиеся по причине ЧФ аварии. Необходимо помочь оператору сохранять в течение всей рабочей смены активный тонус, позволяющий адекватно реагировать, в частности, на чрезвычайные обстоятельства.

### **3. Концепция системы моделирования системы «оператор — АСУ»**

Создание средств решения ПЧФ необходимо вести в следующих направлениях.

#### **1. Поддержание эмоционально комфортного, но бодрого состояния оператора в рабочее время.**

На состояние оператора в течение рабочей смены влияют рабочие и организационные характеристики [1]. Рабочие характеристики — это содержание работы; средства работы; физико-химические и технические условия труда; социальные условия. Организационные характеристики — это оптимальная структура службы АСУ; процессы; управление. Необходимо учесть все эти внешние для оператора факторы влияния на его работоспособность.

Следует создать условия, в которых исключается чрезмерная пассивность оператора. Она может привести к повышению монотонности и, как следствие, утомляемости и сонливости, что отрицательно сказывается на работоспособности. Одно из решений — профилактика неблагоприятных функциональных состояний: усовершенствование средств труда; рационализация рабочих мест; оптимизация режима труда и отдыха; использование чередования операций с нагрузкой на разные функциональные системы; нормализация факторов производственной среды; создание благоприятного социально-психологического климата [7]. Целесообразна также психопрофилактика неблагоприятных функциональных состояний. Все это и рекомендует классическая эргономика.

**2. Обеспечение своевременного и эффективного отдыха (релаксации) оператора.** Качество, время, интенсивность отдыха зависят от индивидуальных характеристик каждого оператора. Индивидуальные характеристики оператора делят на профессиональные, морально-нравственные и организационные, психологические, физиологические, физические [1]. Это существенно усложняет организацию интеллектуального компонента консоли оператора, а сама ПЧФ становится multidisciplinary.

**3. Снижение неадекватной нагрузки на оператора.** Необходимо исключить лишние действия, совершаемые оператором (удобство рабочего места, организация отдыха, обеда, ужина и т. д.), т. е. обеспечить уровень рабочих, организационных, индивидуальных характеристик локальной среды жизнедеятельности оператора, адекватный его функциональным обязанностям.

**4. Мониторинг состояния работоспособности оператора,** его эмоционального и физического состояния. Мониторинг необходим для своевременного реагирования при появлении признаков утомления, чрезмерной нагрузки, спада реактивности и т. п. и, как следствие, — спада психологической работоспособности, повышения вероятности ошибочных действий и т. д.

Перечисленные выше задачи должны составлять существенную часть функциональной нагрузки консоли оператора АСУ. То есть АСУ и ее консоль укомплектовываются соответствующими аппаратно-программными средствами: дистанционными средствами измерения и наблюдения за оператором в частности.

Организация адекватного пользовательского интерфейса консоли является обязательным требованием к любой АСУ. Поддержка необходимой реактивности оператора, его соответствующего эмоционального и физического состояния возможна также путем регулярного тренинга. Например, через определенные интервалы времени или по результатам мониторинга имитируется ложная критическая ситуация, в которую оператор вынужден вмешаться. Далее производится оценка и анализ действий оператора. Если реакция на происходящие события адекватна и время на решение данной задачи удовлетворяет требованиям, то оператор продолжает свою работу, если нет — производится, например, замена оператора. Другое решение — «заставить» автоматику учитывать личностные характеристики каждого оператора в отдельности. При приеме на работу оператор заполняет анкету (входящую, например, в SCADA-систему) и проходит профтестирование. Система, учитывая особенности личности конкретного оператора, организует соответствующим образом взаимодействие его с АСУ.

Для отработки подобных вариантов решения ПЧФ необходима имитационная модель, отображающая

достаточно адекватно тонкости процессов в системе «человек — техника», «человек — консоль АСУ». Вариантом такой модели может стать тренажерный стенд, включающий имитационную систему конкретной АСУ, ее консоли, ориентированной на нивелирование ПЧФ.

Учитывая многодисциплинарность ПЧФ, имитационная модель должна представлять собой инструментальное средство коллективного построения в компьютерной среде вариантов модели, планирования и проведения вычислительных экспериментов, обработки, интерпретации и протоколирования результатов.

#### 4. Простейший прототип модели

Для рассмотрения методики и инструмента построения модели определим гипотетическое множество действий оператора, выполняемых им в течение смены. В этот набор пусть входят:

1. Прием-передача смены (E1).
2. Наблюдение за пультом управления (мониторинг консоли) (E2).
3. Легкий завтрак (E3).
4. Обед (E4).
5. Чай (E5).
6. Личные нужды (E6).
7. Ужин (E7).
8. Действия в предаварийной ситуации (E8).
9. Действия в аварийной ситуации (E9).
10. Другие действия (E10).

Случайный характер изучаемых процессов требует ориентироваться на метод статистического моделирования сложных систем [2]. В этом случае моделью сложной системы выступает алгоритм, позволяющий по заданным значениям параметров системы и начальным условиям путем генерации квазислучайных величин вычислять характеристики, необходимые для решения поставленных задач. Наличие алгоритма позволяет не только вычислять конкретные значения интересующих характеристик, но и осуществлять качественные исследования системы. Статистическое моделирование дает возможность изучать тенденции поведения показателя эффективности (в нашем случае, например, количество предотвращенных аварий) в зависимости от изменения условий в интересующих нас пределах. Путем варьирования различных параметров системы (увеличение/уменьшение количества сигналов о состоянии объекта управления, введение/исключение отвлекающих/бодрящих факторов и т. д.) и ее структуры (введение мониторинга оператора, средств реагирования на снижение его работоспособности и т. п.) могут быть оценены зависимости, полезные для совершенствования системы «оператор — АСУ», выбора режимов ее эксплуатации, или найдены конкретные пути повышения эффективности существующей системы.

Простейшей моделью рассматриваемой системы может быть одноканальная СМО: оператор реагирует на случайно меняющуюся обстановку. Это некорректно, так как система «человек — машина» не является одноканальной. Но умышленная неадекватность имеет целью последовательное движение от простейшей, но технологически совершенной — к полной, адекватной проблематике модели.

События (E1 ... E10) представимы потоком различных по характеру заявок с соответствующими законами распределения как самого потока, так и параметров заявок. В данном случае поток заявок не является ординарным: в системе существуют приоритетные заявки, последствие, регламентированные действия, такие как E1 и E8. Создадим упрощенную (с контролируемой степенью абсурда) статистическую модель, в которой существует одно приоритетное (регламентированное) действие — передача-прием смены (начало и конец рабочего дня) и несколько ординарных событий-заявок — чай, курение, легкий завтрак и т. д. Приоритет заявки передачи-приема смены заключается в том, что другие заявки во время обслуживания приоритетной не воспринимаются, т. е. прием ординарных заявок происходит в интервале времени  $[t_1, t_2]$ . Гипотетически это период времени, например, от  $t_1 = 8.30$  до  $t_2 = 19.30$ , тогда как рабочая смена начинается в 8.00 и заканчивается в 20.00.

Время  $\tau$  ожидания любой заявкой начала обслуживания — случайная величина с законом распределения  $\varphi(\tau)$ . Время  $\tau^*$  занятости оператора (длительность обслуживания ординарной заявки) задается законом распределения  $f(\tau^*)$ . Заявки, для которых время окончания обслуживания больше  $t_2$ , считаются получившими отказ, если это не E8 и не E9.

Для построения алгоритма, моделирующего простейший процесс деятельности оператора, понадобятся следующие операторы [2]:

$\Phi_1$  — формирование очередного момента  $t_j$  поступления заявки в систему;

$P_2$  — проверка условия  $t_j < t_2$  принадлежности момента поступления очередной заявки  $t_j$  интервалу  $[t_1, t_2]$ .

$P_3$  — проверка условия  $t_j < t_{j-1}^*$ , где  $t_{j-1}^*$  — момент окончания обслуживания предыдущей заявки;

$\Phi_4$  — формирование предельной длительности ожидания заявки до начала обслуживания  $\tau$  в соответствии с законом распределения  $\varphi(\tau)$ ;

$A_5$  — вычисление момента  $t_{j\phi} = t_j + \tau$  (в момент  $t_{j\phi}$  заявка покидает систему, если она не будет принята к обслуживанию);

- $P_6$  — проверка условия  $t_j^c < t_{j-1}^*$  (заявка покидает систему раньше, чем освободится канал);  
 $F_7$  — выбор в качестве момента начала обслуживания  $j$ -й заявки момента окончания обслуживания  $j-1$ -й заявки  $t_j^{(H)} = t_{j-1}^*$ ;  
 $F_8$  — выбор в качестве момента начала обслуживания  $j$ -й заявки момента ее поступления в систему (условно, т. е. в действительности учитывается время реакции (запаздывание) оператора)  $t_j^{(H)} = t_j$ ;  
 $\Phi_9$  — формирование длительности обслуживания  $\tau^*$  заявки (времени занятости канала (оператора) в соответствии с законом распределения  $f(\tau^*)$ );  
 $A_{10}$  — вычисление момента окончания обслуживания  $j$ -й заявки (момента освобождения канала)  $t_j^* = t_j^{(H)} + \tau^*$ ;  
 $P_{11}$  — проверка условия  $t_j^* \leq T_2$ ;  
 $K_{12}$  — подсчет количества поступивших заявок  $m$ ;  
 $A_{13}$  — вычисление длительности пребывания в очереди для  $j$ -й заявки  $t_j - t_j^{(H)}$ ;  
 $K_{14}$  — подсчет количества заявок  $n$ , получивших отказ;  
 $K_{15}$  — подсчет количества реализаций  $N$ ;  
 $P_{16}$  — проверка условия  $N < N^*$ , где  $N^*$  — количество реализаций, необходимое для заданной точности;  
 $F_{17}$  — переход к очередной реализации;  
 $A_{18}$  — обработка результатов моделирования;  
 $Я_{19}$  — выдача результатов.  
 В операторной форме моделирующий алгоритм имеет следующий вид:

$$\begin{array}{c}
 13, 14, 17 \Phi_1 P_2^{-15} P_3^{-8} \Phi_4 A_5 P_6^{14} F_7^9 F_8^{7,8} \Phi_9 A_{10} P_{11}^{-14} K_{12} A_{13}^{6,11} K_{14}^{1,2} K_{15} \\
 P_{16}^{-18} F_{17}^1 A_{18}^{16} Я_{19}.
 \end{array}$$

Стрелки, стоящие рядом с операторами, обозначают условный переход, т. е. оператор  $P_2^{-15}$  обозначает переход к оператору под номером 15 при невыполнении условия оператора под номером 2,  $P_6^{14}$  — переход к оператору 14 при выполнении условия оператора 6. Наглядность этого алгоритма дополняется блок-схемой (рис.).

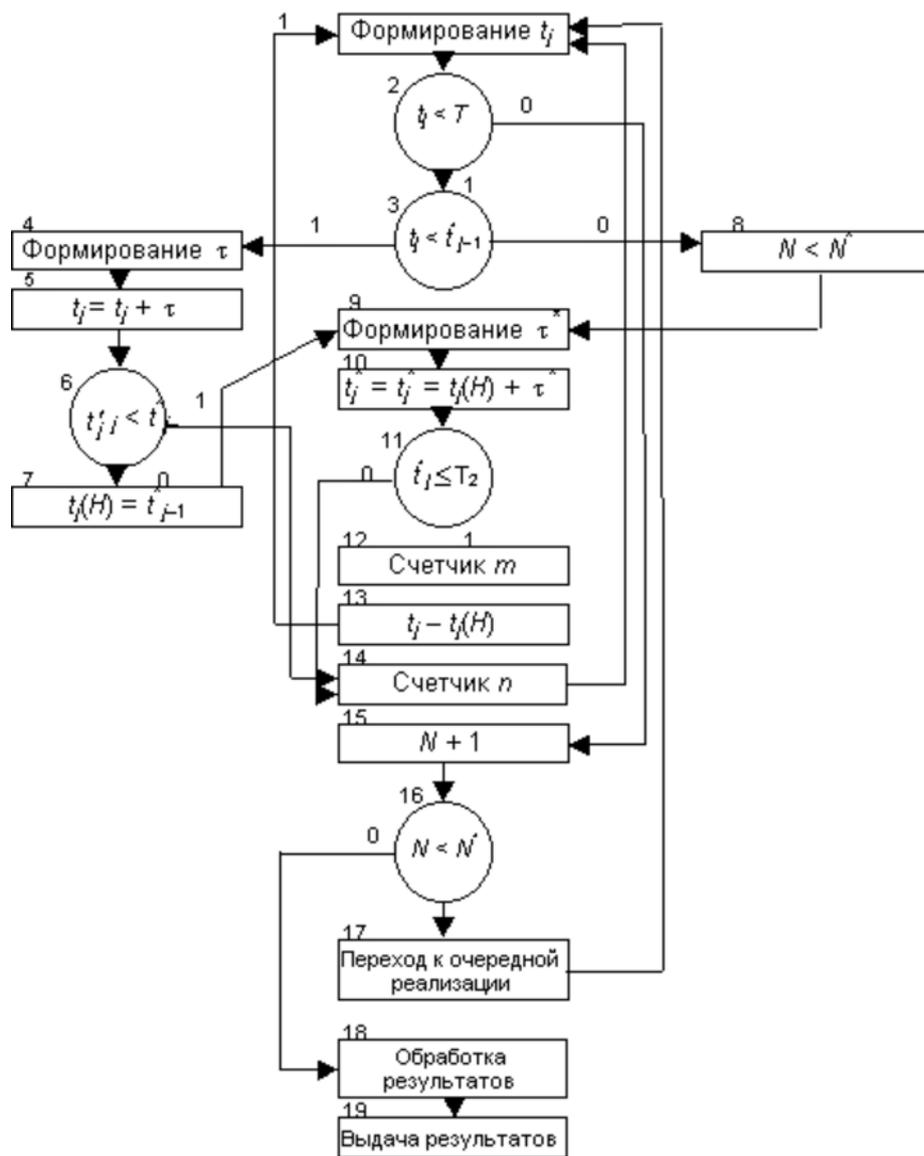
В дальнейшем будем считать, что приоритетные действия оператора по отношению к системе — это E2, E8 и E9. Остальные действия — собственные нужды, характерные для человека, но не для объекта управления. Непосредственные действия оператора (налагаемые на него руководством) — E1, E2, E8, E9. Их мы считаем приоритетными для системы «оператор — АСУ». Поток заявок E1, E8, E9 обозначим как поток приоритетных однородных заявок, а E3, E4, E5, E6, E7, E10 — поток неприоритетных и однородных заявок. E2 — событие, характерное для всей рабочей смены, но прерывающееся в результате возникновения событий E6 и E10.

Так как метод статистического моделирования является численным методом, будем оценивать преимущественно количественные характеристики системы «человек — машина». Варьированием рабочих и индивидуальных характеристик оператора можно менять время его реакции (запаздывание) на приоритетные заявки.

Одним из наиболее распространенных средств моделирования сложных дискретных систем является GPSS (General Purpose Simulation System) [3, 11, 14]. На персональных компьютерах язык GPSS реализован в виде пакета прикладных программ GPSS/PC. Основным модуль пакета представляет собой интегрированную среду, включающую помимо транслятора с входного языка средства ввода и редактирования текста модели, ее отладки и наблюдения за процессом моделирования, графические средства отображения атрибутов модели, а также средства накопления результатов моделирования в базе данных и их статистической обработки. Кроме основного модуля в состав пакета входят модуль создания стандартного отчета GPSS/PC и ряд дополнительных модулей и файлов.

В результате полного моделирования мы должны получить характеристики качества работы системы «человек — машина»: быстроту и адекватность действий оператора, количество предотвращенных аварий, количество во ликвидированных аварий, эффективность систем автоматизации и др. На модели можно будет производить отладку эффективных сценариев взаимодействия оператора с АСУ и методов организации его адекватной деятельности в течение рабочего дня.

В настоящее время вышеприведенный алгоритм реализуется в студенческой версии GPSS/PC



**Рис.** Блок-схема алгоритма моделирования простейшей системы «оператор — АСУ»

### Заключение

Аналитический обзор показал, что ЧФ является ключевой причиной многих аварий в народном хозяйстве и в том числе в НГК. Чтобы решить эту проблему, необходимо понять, описать и структурировать суть понятия «человеческий фактор» в современном мире. Обобщение причин ряда аварий [13] позволяет утверждать, что ЧФ включает в себя как минимум следующие факторы:

- а) недостаточная квалификация;
- б) недисциплинированность и неисполнение инструкций;
- в) халатность (недостаточное чувство ответственности);
- г) неготовность к чрезвычайным ситуациям (растерянность, некомпетентность);
- д) утомляемость в штатной ситуации;
- е) снижение бдительности при длительном нормальном функционировании — следствие монотонности процесса труда.

Для устранения или минимизации действия вышеперечисленных факторов предлагаются следующие меры:

- а) поддержание квалификации (спонтанно повторяющееся тестирующе-тренинговое обучение, бодрящее обстановку);
- в) использование тренажеров при подготовке и приеме персонала;
- в) мониторинг состояния операторов и лиц, непосредственно участвующих в автоматизированном управлении, с последующим адекватным автоматически генерируемым воздействием на них.

Учитывая сложность и многодисциплинарность перечисленных мер, их разработку целесообразно вести через имитационные эксперименты, безопасные как для человека, так и для технической системы.

## Литература

1. Бодров В. А. Информационный стресс: Учеб. пособие для вузов. М.: ПЕР СЭ, 2000. 352 с.
2. Бусленко Н. П. Метод статистического моделирования. М.: Статистика, 1970. 110 с.
3. Воробейчиков Л. А., Шакин В. Н., Шибанов С. Е. Методические указания по использованию средств имитационного моделирования систем и сетей связи для слушателей ФПКП // <http://gps.nm.ru/docs/gpsspc.htm>.
4. Диденко С. М., Шапцев В. А. Проблема утомляемости операторов пульта управления // Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике. Материалы междунар. науч.-техн. конф. Тюмень, 7–8 окт. 2003 г. Тюмень: Изд-во ТГНГУ, 2003. С. 71–72.
5. Егоров А. А. Искусственный интеллект в промышленных АСУ и контроллерах: мифы и реальность, дань моде или объективная необходимость? // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. № 10. С. 62–65.
6. Костин А. Н., Голиков Ю. Я. Психология автоматизации управления техникой. М.: Изд-во Ин-та психологии РАН, 1996. 160 с.
7. Моргунов Е. Б. Человеческие факторы в компьютерных системах. М.: Тривола, 1994. 272 с.
8. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) // <http://www.kari.ru/main/asutp/equipment/SCADA.html>.
9. Панина М. Е. «Человеческий фактор» и высокие технологии. ЗАО «РТСофт» // <http://www.rysoft-training.ru>.
10. Хроника чрезвычайных происшествий в промышленности за 2003 год // <http://www.nadzor.vorkuta.ru/new-arch2003.html#ANCHOR1> –
11. Шакин В. Н., Воробейчиков Л. А., Шибанов С. Е., Семенова Т. И. Моделирование систем и сетей связи: Учеб. пособие // <http://doklad.ru/monika/doklad/view/zip-5555-1.html>.
12. Шапцев В. А. Информационная экология человека. Постановка проблемы // Математические структуры и моделирование. 1999. Вып. 3. С. 125–133.
13. Шапцев В. А. Проблематика информационной экологии // Вестник кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. Вып. 2. С. 10–18.
14. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. / Пер. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуиловича; Ред. М. А. Файнберг. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.

M. A. Boyarkin, V. A. Shaptsev

### ON ONE APPROACH TOWARDS SOLUTION OF «HUMAN FACTOR» AT OIL-AND-GAS FACILITIES

*The paper is aimed at searching efficient approaches towards solution of «human factor» to be still of current interest in complex control systems for oil and gas production. The authors substantiate the need to create an integrated simulation model representing operator's behavior in automated control systems. Such model allows to develop scenarios of operator's actions, such as SCADA-systems, and to optimize those basing on the criterion of minimizing inadequate actions on operator's part when a controlled facility being in the state of «disorder», as well as to realize a program of operator's (dispatcher's) control training. The authors suggest that the problem should be solved in point of view of the human information ecology.*