

Ю.И. Артюшин¹, И.Ю. Святенко¹, И.М. Тетерин², Н.Г. Топольский²
(¹Московский государственный строительный университет,
²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: info@academygps.ru)

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ В МЕГАПОЛИСАХ

По данным центра мониторинга и прогнозирования МЧС России "Антистихия", в ближайшие годы значительно возрастет число аварий, причиной которых станут технические неисправности и человеческий фактор. В связи с повышением степени автоматизации, перераспределением функций между человеком и аппаратурой, обострением проблемы взаимодействия человека-оператора с системой управления, исследуется проблема предупреждения ошибочных действий операторов.

Ключевые слова: кризисная ситуация, оператор, система управления.

Yu.I. Artyushin, I.Yu. Svyatenko, I.M. Teterin, N.G. Topolskiy
ANALYSIS TO ACTIVITY OPERATOR
OF AUTOMATIC MANAGEMENT SYSTEM
IN CRISIS SITUATION IN CITY

According to the data of the Centre of Emergency Monitoring and Forecasting of Emercom of Russia "Antistihia" the number of accidents caused by technical malfunctions and human factor will considerably increase in the nearest future.

The problem of the prevention of an erroneous operators' activity is investigated in connection with the increasing extent of automatization, the redistribution of functions between man and equipment, the aggravation of the problem of interaction between a operator and a management system.

Key words: crisis situation, operator, management system.

Статистика показывает, что до 65 % аварий происходит из-за ошибок операторов при ликвидации аварийных ситуаций (АС) [2, 3, 12, 13]. Повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком и аппаратурой в сложных автоматизированных системах обострило проблему взаимодействия оператора с системой управления [4] (рис. 1).

В МЧС России повышение степени автоматизации коснулось, в частности, процессов оперативного управления ликвидацией последствий пожаров, природных и техногенных катастроф, а также подготовки вариантов соответствующих управленческих решений с учётом изменения статуса телефонного номера "01" и введением номера "112". На рис. 2 представлен состав типовой городской объединенной системы оперативно-диспетчерского управления (ОСОДУ) в чрезвычайных ситуациях (ЧС), в которую, наряду с единой дежурно-диспетчерской службой (ЕДДС"01"),

входят дежурно-диспетчерские службы (ДДС) экстренного реагирования ("02", "03", "04"), жилищно-коммунального и топливно-энергетического хозяйства, наблюдения и контроля за окружающей средой, а также диспетчерские службы потенциально опасных объектов.

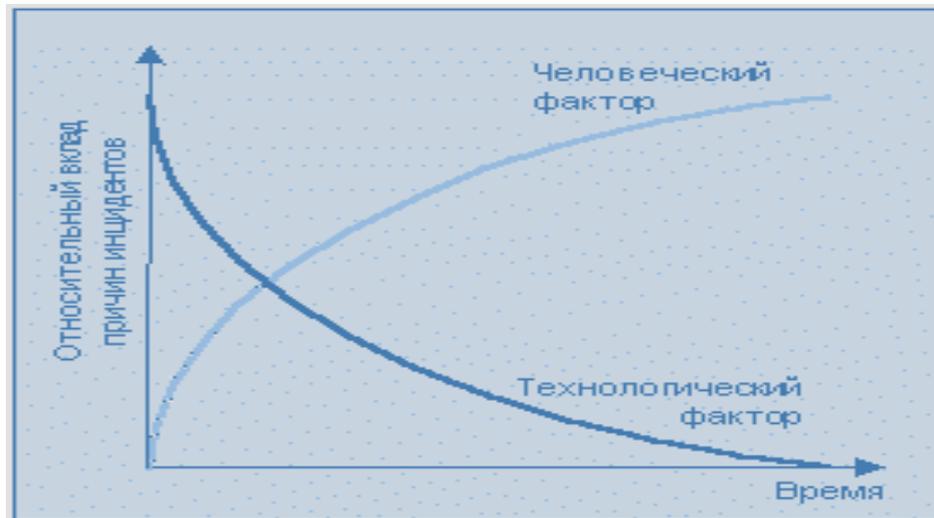


Рис. 1. Тенденции причин аварий в сложных автоматизированных системах

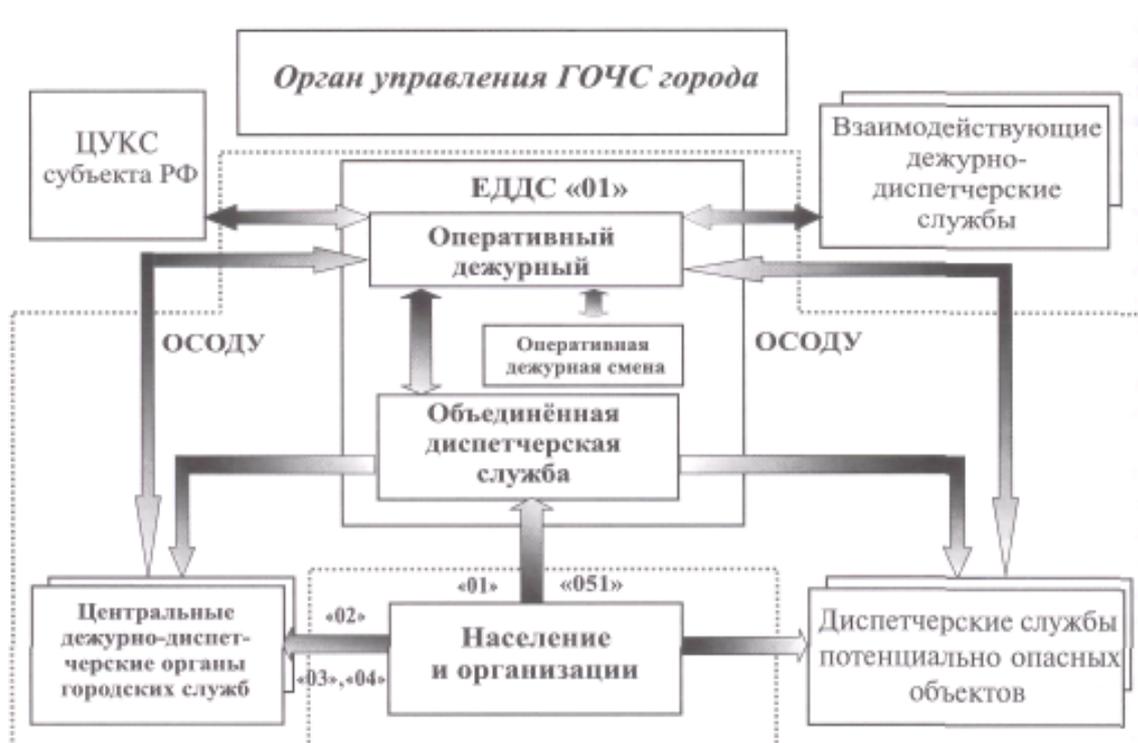


Рис. 2. Состав типовой городской объединенной системы оперативно-диспетчерского управления мегаполиса

В структуре ЕДДС города предусмотрена автоматизированная система, обеспечивающая автоматизацию решения следующих основных задач [1]:

- сбор, оценка достоверности и обмен между ДДС информацией об угрозе возникновения или факте ЧС;
- обработка и анализ данных об обстановке, определение масштабов ЧС и состава дежурно-диспетчерских служб, привлекаемых для экстренного реагирования, их оповещение;
- представление докладов (донесений) вышестоящим городским органам управления о сложившейся обстановке и действиях по ее ликвидации;
- оценка и контроль обстановки, принятие решений об экстренных мерах по ликвидации ЧС, доведение задач до сил постоянной готовности, контроль их выполнения и организация взаимодействия;
- информирование дежурно-диспетчерских служб, входящих в ЕДДС и привлекаемых к ликвидации ЧС, сил постоянной готовности, а также взаимодействующих ДДС об обстановке и принятых мерах;
- обобщение информации за определенный период времени о частоте возникновения и тяжести произошедших ЧС, ходе работ по их ликвидации и представление по подчиненности итоговых докладов.

С повышением степени автоматизации процессов управления в кризисных ситуациях (КС) связана задача предупреждения ошибочных действий операторов. Одной из основных причин появления ошибок является недостаточность существующих средств, обеспечивающих безошибочность формирования команд управления в КС. Процесс автоматизированного управления заключается в следующем.

Состояние объекта в каждый момент времени характеризуется вектором переменных $\bar{x}(t)$. Безопасный режим функционирования объекта определяется нахождением $\bar{x}(t)$ в области допустимых состояний $\Omega(t)$. Все пары состояний объекта, определяемые как $(\bar{x}_1(t), \bar{x}_2(t), x_1(t), x_2(t) \in \Omega(t))$, представляют собой множество нормальных ситуаций $S_n = \{s_{ni}\}$, получаемых в результате отображения $W : X_1 \times X_2 \rightarrow S_n$ подмножеств нормальных режимов функционирования объекта

$$X_n, x_1(t) \in X_1, x_2(t) \in X_2, X_1 \cup X_2 = X_n,$$

$$X_n \subset X, X_n = \bigcup_{\bar{x}(t) \in \Omega(t)} \bar{x}(t), X = \bigcup_{t \in [0, T]} \bar{x}(t)$$

в S_n , являющихся или множеством натуральных чисел, или качественным описанием различных поведенческих $x_1(t') \rightarrow x_2(t'')$ состояний объекта на интервале функционирования $[0, T]$ в моменты времени t' и t'' , причём

$t' < t''$. Область допустимых состояний $\Omega(t)$ в общем случае существенно зависит от внешних условий, исправности систем и управляющих сигналов, формируемых оператором. Случайные отказы жизненно важных систем объекта, ошибки оператора по формированию управляющих команд и неблагоприятные воздействия условий приводят к появлению недопустимых состояний объекта $\bar{x}^*(t) \notin \Omega(t)$ и КС. В КС при отсутствии правильных управляющих команд в момент времени $t > t_{np}$ возникает авария. Множество ситуаций $S_k = \{s_{ki}\}$ в момент времени $t \in [t', t'']$, элементы которого определяются как однозначное отображение

$$s_{ki} = f_{ki}[\bar{x}_1^*(t'), \bar{x}_2^*(t'')]; \quad \bar{x}_1^*(t'), \bar{x}_2^*(t'') \notin \Omega(t); \quad t'' \geq t_{np}; \\ t' < t_{np}; \quad \bar{x}_2^*(t'') \in X_k; \quad X_k = X \setminus X_n$$

будем называть кризисными ситуациями. Существенное отличие кризисной ситуации от аварийной заключается в возможности вывода объекта за время $t < t_{np}$ в область $\Omega(t)$ безопасных режимов функционирования путем реализации такого предупреждения ошибочных действий операторов $\Phi_j(t)$, при котором в результате действий оператора состояние $\bar{x}^*(t')$ переходит в состояние $\bar{x}(t'') \in \Omega(t)$. Все множество допустимых алгоритмов управления

$$\Phi(t) = \bigcup_j, t < t_{np} \Phi_j(t)$$

представляет собой закон управления объектом в КС, который можно представить отображением в виде $\Gamma : S_k \times \Phi(t) \rightarrow S_n$. Таким образом, процесс ликвидации КС заключается в выборе и реализации автоматизированного алгоритма управления:

$$\Phi_j(t) = \langle \varphi_{j_1}(t_1), \varphi_{j_2}(t_2), \dots, \varphi_{j_n}(t_n) \rangle, \\ \Phi_j(t) \subset \Phi(t), \quad t_i < t_{np}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Однако случайный характер отказов на объекте и воздействий окружающей среды приводят к необходимости постоянной коррекции выбранного алгоритма управления $\Phi_j(t)$. Коррекция заключается в перестройке, дополнении состава и изменении оператором управляющих действий $\varphi_{j_i}(t_i)$ в моменты t_i . Этот творческий характер выбора и реализации алгоритма управления при появлении и развитии КС снижает степень автоматизации процесса ее ликвидации. В то же время сложность и многообразие алгоритмов ликвидации КС, быстротечность процессов управления объектом определяют значительное увеличение ошибок управления в КС. Основной причиной ошибок, является неудовлетворительный контроль оператором процесса реализации команд. Это приводит к ошибочной реализации алгоритма управления $\Phi^*(t)$ и зачастую к выполнению условия $D: S_k \times \Phi_j^*(t) \rightarrow X_k$, характеризующего наличие аварии в моменты време-

ни $t \geq t_{np}$.

Теоретические исследования по повышению надежности работы оператора проводились в рамках инженерной психологии и эргономики [5, 6, 7, 9] с использованием философских представлений, методов обучения, профтехотбора и оптимального конструирования пультов управления с учетом человеческого фактора. В частности, анализ промышленных пожаров [13] и происшествий на атомных электростанциях [14] позволил сделать вывод, что поведение человека и исследуемые ошибки определяются: типом ситуации, неправильным выбором в альтернативной ситуации, улучшением рабочих процедур, выполняемых либо при самопроизвольных отклонениях управляемых величин, либо в ответ на изменение ситуации. Эти три категории составляют 80-90 % из рассмотренных случаев ошибок [8]. Из распределения по видам задач и типам ошибок, на основе данных 200 отчетов по атомным электростанциям из раздела "Проблемы операторов", следует, что основную часть ошибок составляют пропуски функционально изолированных действий (табл. 1).

Таблица 1

Распределение ошибок оператора по видам задач и причинам

ЗАДАЧА ПРИЧИНА ОШИБКИ	Управление и контроль	Общее управление	Ручное управление	Проверка по контрольной карте	Проверка и калибровка	Ремонт и модификация	Административные задачи	Управление, подбор персонала	Неупомянутые случаи	Распределение по причинам ошибок
Рассеянность						1	1		1	3
Привычные ассоциации	1	3		1		1				6
Низкий уровень бдительности		2		3	1			4		10
Пропуски функционально-изолированных действий		1	3	5	21	31	1	1	5	68
Другие виды пропусков		1	2	3	7	4				17
Ошибки альтернативного выбора		1	1	4	3			1	1	11
Ожидание, предположения вместо наблюдения	1	1	2	2	2	2		1	1	10
Неадекватный учет побочных эффектов		1	1	4	1	7		1		15
Неадекватный учет неявных условий	1	2	2	2	5	4	1	3		20
Вариативность движений рук, малая точность			1	1	3	4			1	10
Слабая топографическая, пространственная ориентировка			2	2	2	3			1	10
Неупомянутые случаи		1	3	3	2	5		2	4	20
Распределение по задачам	3	13	17	30	47	60	4	13	13	200

Если рассмотреть ошибки, распределив их в зависимости от значения умственных операций в процессе выполнения задачи (табл. 2), то картина становится более четкой: в большинстве случаев люди правильно определили состояние системы, правильно выбрали цели действий и правильно поставили задачу, но не смогли правильно выдержать последовательность процедур или ошиблись при выполнении ручных операций (76,5 % всех ошибок).

Таблица 2

Распределение ошибок оператора по фазам решения умственных задач и причинам

ПРИЧИНА ОШИБКИ	ФАЗА РЕШЕНИЯ УМСТВЕННЫХ ЗАДАЧ									
	Обнаружение запроса	Наблюдение – коммуникация	Идентификация состояния системы	Осн. назначение- стратегич. решение	Цели – промежут. состояние стисемы	Задача – определить, выбрать	Процедура – планировать, воспроизв.	Выполнение ручных операций	Неупомянутые случаи	Распределение по причинам ошибок
Рассеянность		1	1					1		3
Привычные ассоциации			5		1					6
Низкий уровень бдительности	6	2					1	1		10
Пропуски функционально- изолированных действий	1						65	2		68
Другие виды пропусков	1	2			1		12	1		17
Ошибки альтернативного выбора							1	9		11
Ожидание, предположения вместо наблюдения		4	3				3			10
Неадекватный учет побочных эффектов			1		1		13			15
Неадекватный учет неявных условий			5				15			20
Вариативность движений рук, малая точность								10		10
Слабая топографическая, пространственная ориентировка								10		10
Неупомянутые случаи	3	2	2		2		7	2	2	20
Распределение по фазам решения умственных задач	11	12	17		5		117	36	2	200

Проведенный анализ содержания причинно-следственных отношений в развитии нарушений деятельности операторов указывает на непрерывное увеличение удельного веса тех компонентов человеческого фактора, которые связаны с подготовленностью операторов, их умением действовать в штатных и аварийных ситуациях. Этим обстоятельством опреде-

ляется все нарастающий интерес к вопросам профессиональной подготовки операторов, развитию средств и методов их обучения и тренировки.

Увеличение числа заученных и нормированных двигательных подпрограмм в процессе тренировки и обучения следует сочетать с развитием гибкости процессов целенаправленного осмысления ситуации. "Человека можно натренировать так, чтобы он вел себя определенным образом и действовал эффективно. Но, в конце концов, он будет действовать автоматически, не обучаясь замечать, правильно или неправильно он действует. Такое поведение не может считаться исполнением правил: понятие правил, ошибок или промахов становится бессмысленным" [15].

Однако, как показывает анализ статистики АС [2, 3], требуемого уровня безошибочной работы оператора с помощью только методов инженерной психологии и эргономики достичь не представляется возможным.

Важным шагом обеспечения правильной реализации команд управления оказалось использование метода контроля с использованием *дублирования операторов*, предложенного английским исследователем А. Чапанисом [5]. Особенностью этого метода является независимая по реализации действий работа 2-х операторов, в результате которой управляющий сигнал формируется схемой совпадения при выполнении операторами одинаковых действий. Тогда вероятность формирования ошибочной команды P_o для пульта, состоящего из N органов управления, может быть вычислена по формуле:

$$P_o = \sum_{j=1}^N p_j \sum_{i=1}^{h_j} p_{ji} q_{ji}, \quad (1)$$

где p_{ji} , q_{ji} – вероятности выбора операторами i -го (из h_j возможных) ошибочного действия при выполнении j -го требуемого действия;

p_j – вероятность выбора операторами ошибочного одинакового действия.

Теоретический расчет по формуле (1) и экспериментальная проверка эффективности метода в счетной системе показали уменьшение числа ошибок управления более чем в 300 раз, по сравнению с их числом в той же системе с одним оператором. Это позволяет резко снизить требования к качеству и количеству контрольных операций при реализации команд управления каждым оператором. Недостатком метода дублирования является необходимость создания условий для быстрого выбора операторами правильных идентичных действий, своевременного согласования и устранения ошибок.

Более общий подход к повышению надежности работы оператора в автоматизированных системах управления за счет использования избыточности операторов, объединенных для решения задачи управления в параллельно-последовательные или избирательно-суммирующие схемы форми-

рования управляющего сигнала, предложен И.В. Кузьминым [12]. Этот метод позволяет существенно уменьшить вероятность ошибки управления, но требует значительной избыточности операторов. В случае быстротечности многих ситуаций в тяжелых условиях работы (воздействие помех, шума, гипоксии и т.п.) был предложен метод контроля состояния оператора, основанный на теории распознавания образов [11].

Содержание метода заключается в измерении потенциалов электрически активных точек оператора или других психофизиологических характеристик, определении по ним "образа" текущего i -го состояния оператора в соответствии с неравенством

$$R_i - R_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

в выделении максимального сигнала R_i из всех возможных сигналов в пространстве решений $\{R_j\}$. В зависимости от "степени опасности" состояния оператора, определенной по решающему правилу (2), автоматически включается вибротактильная сигнализация (система тонизирования) или при стрессе происходит отключение канала управления. Этот метод контроля состояния оператора позволяет определить момент времени, когда он будет чаще совершать ошибки, и исключать его из контура управления. Для повышения безошибочности формирования команд управления эффективным будет использование метода многошагового контроля [10]. Этот метод широко применяется в Windows и других операционных системах при взаимодействии пользователя с ЭВМ. Установлено, что при двухшаговом взаимодействии вероятность ошибки в формировании команды оператором определяется по формуле:

$$P_o = p[2a + p - 2pa / (N - 1)] / (N - 1), \quad (3)$$

где a, p – вероятности ошибки автомата и оператора соответственно.

Этот метод является эффективным средством исключения ошибок управления, когда при контроле формирования команды управления осуществляется выдача важной информации на дисплей и гибкая блокировка ошибочных действий. Вероятность ошибки оператора сложных человеко-машинных систем на фазах идентификации, планирования и выполнения с использованием пошагового алгоритма можно оценивать следующим выражением [16]:

$$\log P = r \times SLI + b, \quad (4)$$

где r, b – коэффициенты, оцениваемые по эмпирическим данным;

SLI – индекс вероятности успеха, зависящий от случайных факторов, влияющих на ошибки оператора на фазах идентификации, планирования и выполнения.

Несмотря на многочисленные исследования и автоматизацию операторской деятельности остаются нерешенными вопросы, связанные с контролем действия операторов в условиях коррекции ими алгоритмов управ-

ления при развитии КС. В условиях малого резерва времени становится сложным осуществлять эффективное взаимодействие оператора с автоматизированной системой контроля. Эта задача требует разработки специальных методов взаимодействия. Организация блокировок может создавать дополнительную неопределенность в состоянии объектов. Поэтому автоматизированная система контроля должна способствовать снятию этой неопределенности.

Литература

1. Качанов С.А., Тетерин И.М., Топольский Н.Г. Информационные технологии предупреждения и ликвидации ЧС: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – 212 с.
2. Синюшкин В.А. Анализ аварийности на зарубежном воздушном транспорте. - М.: ГосНИИГА, 1971.
3. Акиндеев А.Е., Константинов В.Д., Крауз С.В. Инженерно-авиационная служба и эксплуатация авиационного оборудования. - ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1970.
4. Мир компьютерной автоматизации, 1999. - № 3. - С. 4-9.
5. Ломов Б.Ф. Человек и техника. - М.: Сов. радио, 1966. - 464 с.
6. Цибулевский И.Е. Ошибочные реакции человека-оператора. - М.: Сов. радио, 1979. - 205 с.
7. Шеридан Т.Б., Феррел У.Р. Системы человек-машина. - М.: Машиностроение, 1980. - 399 с.
8. Расмуссен Й. Чему учат ошибки человека? // Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития. Хрестоматия / Ред. А.Б. Леонова, О.Н. Чернышева. - М., 1995. - С. 117-135.
9. Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития. Хрестоматия / Ред. А.Б. Леонова, О.Н. Чернышева. - М., 1995. - С. 54.
10. Дубинин Н.М., Юсупов И.Ю. Эффективность многошагового контроля оператора в системах "человек-машина" // Статистический анализ и моделирование процессов и систем. - Таганрог: ТРТИ, 1977. - Вып. 3. - С. 130-136.
11. Боднер В.А. Оператор и летательный аппарат. - М.: Машиностроение, 1976. - 224 с.
12. Кузьмин И.В., Явна А.А., Ключко В.Н. Элементы вероятностных моделей АСУ. - М.: Сов. радио, 1975. - 33 с.
13. Nuclear Power Experience (1978). Edited by Nuclear Power Experience, Inc. Encino, California. USA.
14. Needham R.C., Edwards B.J., Prather D.C. Flight Simulation in Combat Training. // Defence Management, J., 1980. - V.16. - №4. - P. 321.
15. Toulmin S. (1969). Concepts and the explanation of human behaviour. In Mischel, T. (ed.), Human Action. Conceptual and Empirical Issues. New York: Academic Press.
16. Methodology for the analysis of human error probabilities: Pap. Int. Conf. Glob. Benefits Nucl. Technol., Washington, D.C., Nov. 10-14, 1996/ Shen Song-Hua, Moshel Ali // Trans. Amer. Nucl. Soc. - 1996. - 75.- PP. 85-86.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 12 сентября 2009 г.