

**Центр подготовки кадров энергетики**

**Г.В.Меркурьев**

**Оперативно-диспетчерское  
управление энергосистемами**

**Методическое пособие**

Санкт-Петербург

2002

**Меркурьев Геннадий Васильевич.** Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами. - Учебное пособие. Издание Центра подготовки кадров энергетики

Учебное пособие предназначено для слушателей групп повышения квалификации по курсу «Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами».

Учебное пособие может быть использовано в практической работе руководителей оперативно-диспетчерских служб АО-энерго, АО-электростанций и ПЭС.

Учебное пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами»

Научный редактор главный диспетчер ЦДУ ЕЭС России Бондаренко А.Ф.

## Оглавление

Предисловие.....	5
1. Потоки заявок, поступающие на обслуживание диспетчеру энергосистемы.....	6
2. Длительность оперативных переговоров.....	20
3. Надежность работы диспетчера .....	23
4. Прогнозирование надежности диспетчера в аварийных ситуациях .	33
5. Оптимальное составление диспетчерских вахт .....	42
6. Распределение обязанностей в вахте .....	46
7. Предельный объем энергосистемы по условиям диспетчерского управления .....	52
8. Проведение и оценка противоаварийных тренировок .....	56
8.1. Деловые игры .....	56
8.2. Методические указания по проведению противоаварийных тренировок оперативного персонала энергосистем .....	72
8.3. Оценка противоаварийных тренировок.....	82
8.4. Ценность оперативно-диспетчерской информации.....	87
9. Тренажеры.....	92
9.1.Режимный тренажер.....	92
9.2. Тренажер оперативных переключений.....	102
10. Советчик диспетчера.....	107
Литература .....	116

## Предисловие

Настоящее пособие посвящено проблеме работы с персоналом в оперативно-диспетчерском управлении энергосистемами. Изложенный материал базируется на опыте эксплуатации и научных исследованиях по эксплуатации энергосистем и энергообъединений СССР и России.

В пособии разработаны организационные и технические методы работы с оперативно-диспетчерским персоналом с учетом психологических особенностей человека-оператора, направленные на повышение надежности управления энергосистемами.

Одна из важнейших проблем, решаемая в пособии, заключается в научной организации труда и функционировании диспетчерских вахт в непрерывном цикле диспетчерского управления.

Совершенствование навыков и умений диспетчерского персонала достигается путем подготовки и проведения противоаварийных тренировок, которые являются одной из основных форм подготовки и проверки готовности выполнения своих функций оперативным персоналом. Предложенная методика оценки результатов противоаварийных тренировок позволяет организовать как коллективную, так и индивидуальную работу с каждым диспетчером, выявляя его профессиональные знания и психологические особенности как личности.

В пособии приводится краткое описание тренажеров наиболее широко используемых в практике работы с диспетчерским персоналом энергосистем (режимного - автор В.Т.Воронин, по переключениям в электрических сетях - автор А.С.Рожков).

Существенную помощь в обеспечении надежной работы энергосистем могут оказать советчики диспетчера, особенно в темпе процесса управления. В пособии изложена математическая реализация советчика диспетчера по управлению режимом энергосистемы (ввод режима в штрафную область ВРШО), имеется программная реализация советчика - ЛАП (ликвидация аварийных перегрузок на связях, в сечениях и управление напряжением в контрольных точках энергосистемы).

## 1. Потоки заявок, поступающие на обслуживание диспетчеру энергосистемы

Основные функции диспетчера во время дежурства заключаются в ведении режима и производстве переключений.

Используя язык теории массового обслуживания, диспетчеру поступает поток заявок от  $n$  объектов в дискретные моменты времени.

Относительно потока заявок  $i$ -го объекта системы можно сделать следующие предположения:

1. Он является одинарным, т.е. вероятность одновременного поступления двух или более числа требований является бесконечно малой величиной;

2. Он является нестационарным в течение суток, но на меньших интервалах времени (в пределах часа), его можно считать стационарным.

Согласно предельной теоремы Хинчина [1] сумма ординарных, стационарных потоков интенсивностей  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  стремится к простейшему потоку с параметром  $\Lambda = \sum_i \lambda_i$

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (1.1)$$

причем влияние последствий является несущественным.

В зависимости от характера возмущения  $D$  поступающий диспетчеру энергосистемы поток заявок можно разделить на несколько потоков.

По выработке электроэнергии:  
регулирование режима;  
отключение (включение) котлагрегатов;  
отключение (включение) гидро- и турбоагрегатов и т.д.

По распределению электроэнергии:  
отключение (включение) линий;  
отключение (включение) трансформаторов;  
переключение на шинах станций, подстанций;  
изменение автоматики и уставок релейной защиты и т.д.

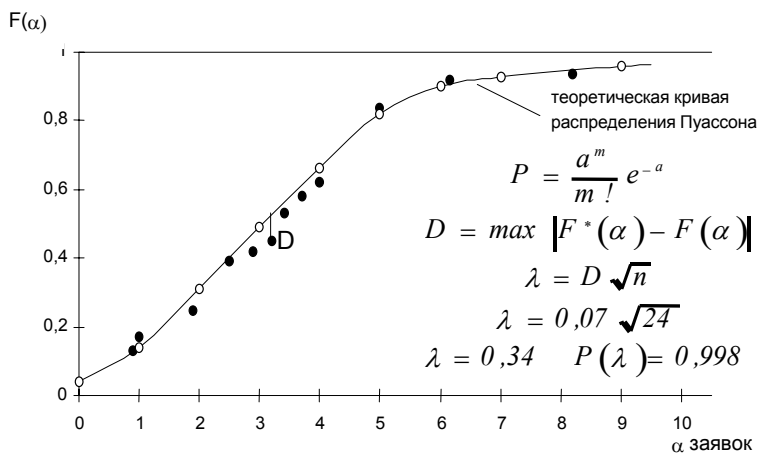
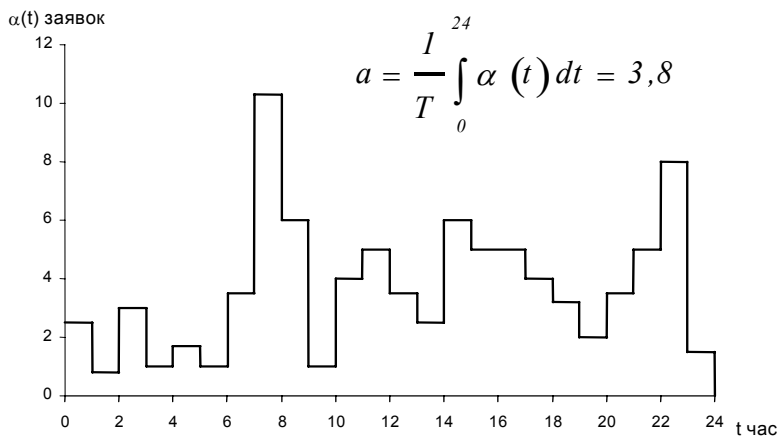
Поток заявок по выработке электроэнергии образуется тем потоком заявок, которые возникают из-за несоответствия реального потребления электроэнергии и прогнозируемого. Задача диспетчера заключается в том, чтобы поддерживать в заданных пределах частоту или перепады мощности по межсистемным линиям связи и следить за напряжением в контрольных точках энергосистемы в том случае, когда диапазон регулирования активной и реактивной мощности на регулирующих станциях и синхронных компенсаторах исчерпан.

Распределение электроэнергии связано с различного рода операциями по включению и отключению ЛЭП, трансформаторов, переключениями на шинах станций и подстанций, изменением автоматики и уставок релейных защит и т.д. Это может выполняться по заранее поданным заявкам или в процессе текущей эксплуатации.

В системе Ленэнерго были обработаны указанные потоки заявок, поступившие диспетчеру за год с целью определения их характеристик. Были выбраны по четыре рабочих (среды) дня каждого месяца. Всего рассматривалось четыре месяца года – январь, апрель, июль и октябрь. Возможность объединения четырех рабочих дней и получения средних параметров проведена с помощью критерия согласия  $\chi^2$  [1].

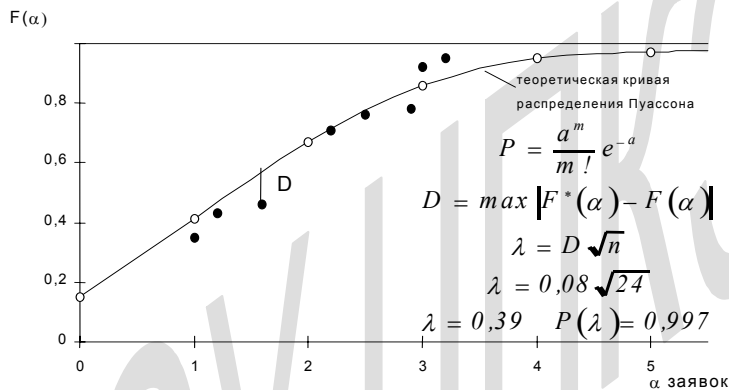
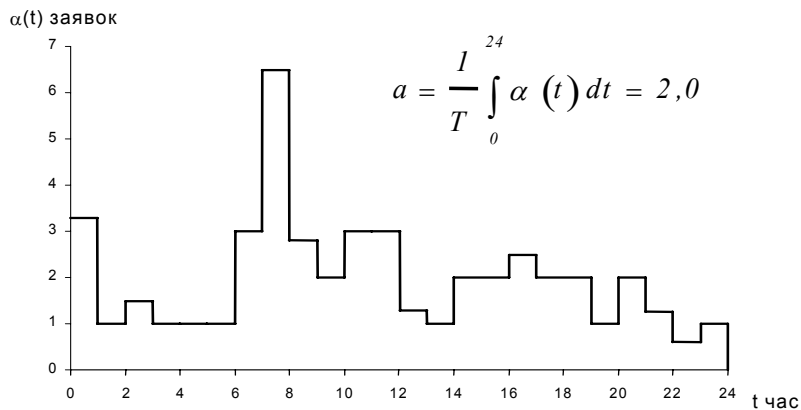
На рис.1-12 показана интенсивность поступления заявок диспетчеру энергосистемы  $\alpha$  в течение рабочих суток отдельно и суммарно по выработке и распределению электроэнергии, а также построены функции распределения числа поступающих заявок в час  $F(\alpha)$ .

Интенсивность поступления заявок подчиняется распределению Пуассона. Для каждого потока определен параметр закона Пуассона  $a$  и проведена проверка согласия интенсивности поступления заявок с распределением Пуассона по критерию Колмогорова [1].



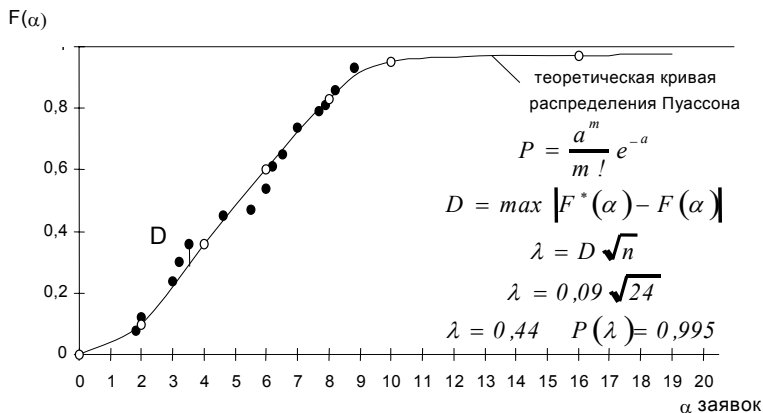
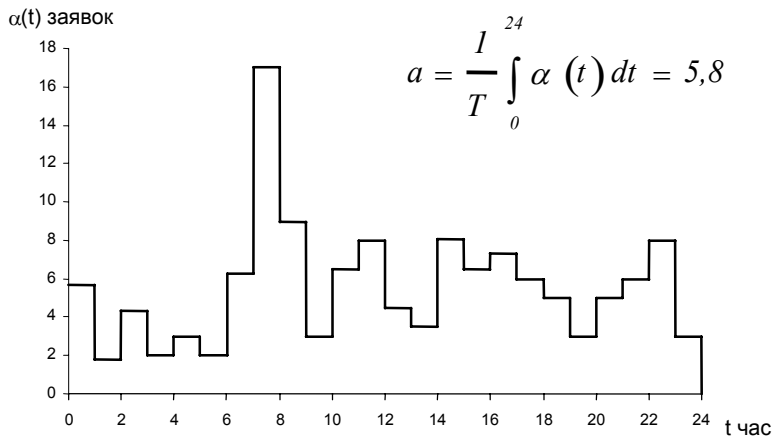
Выработка электроэнергии,  
средний рабочий день, январь

Рис. 1



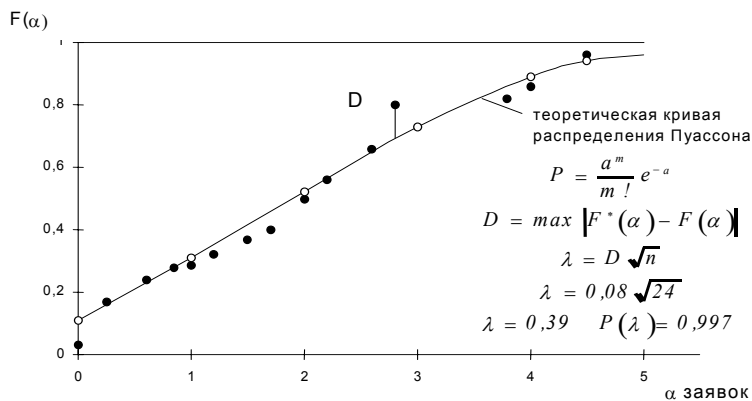
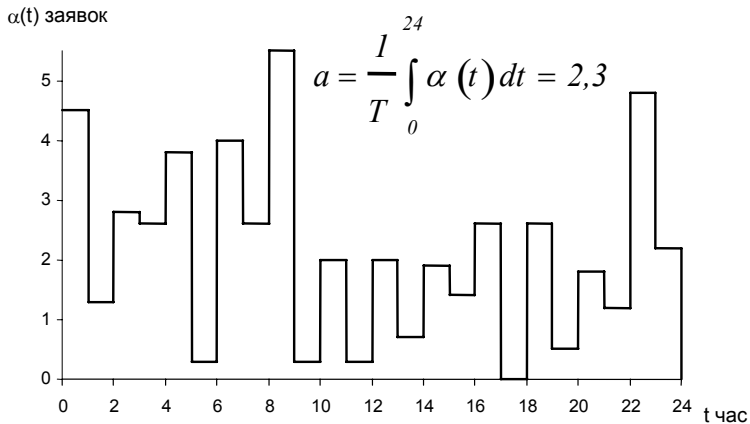
Распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, январь

Рис. 2



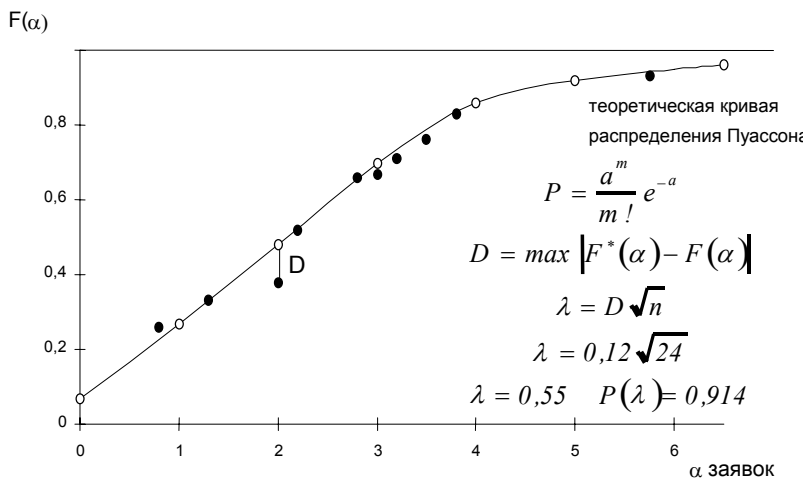
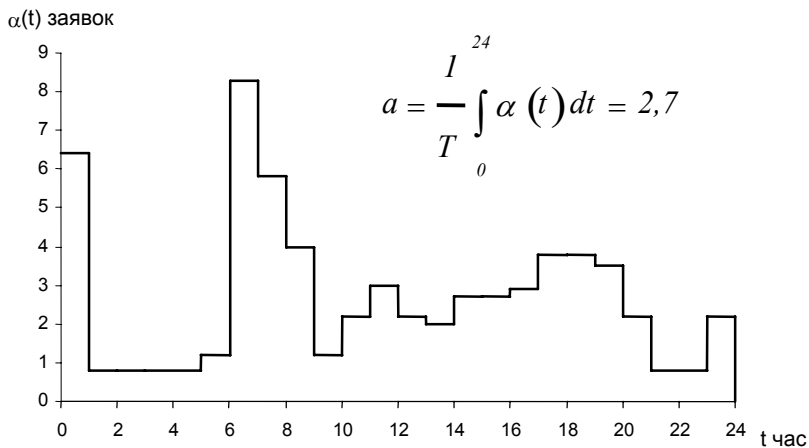
Выработка и распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, январь

Рис. 3



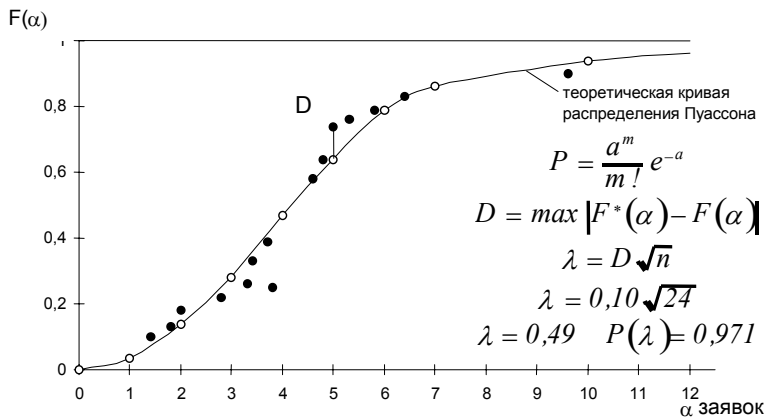
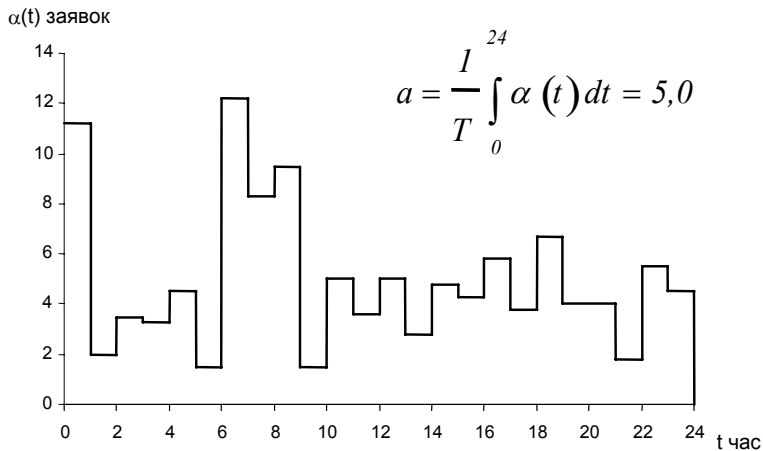
Выработка электроэнергии,  
средний рабочий день, апрель

Рис. 4



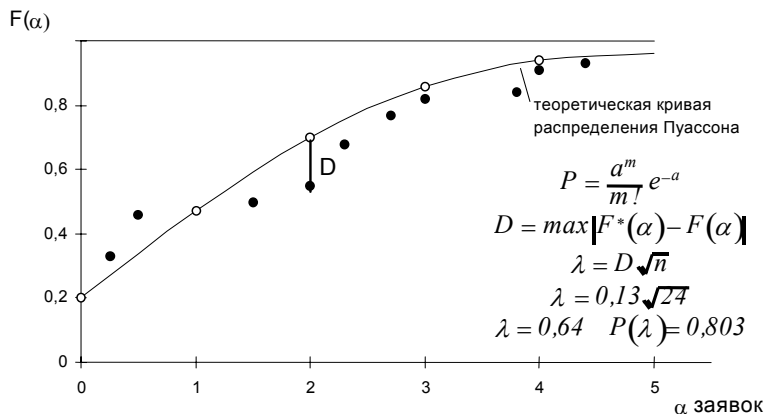
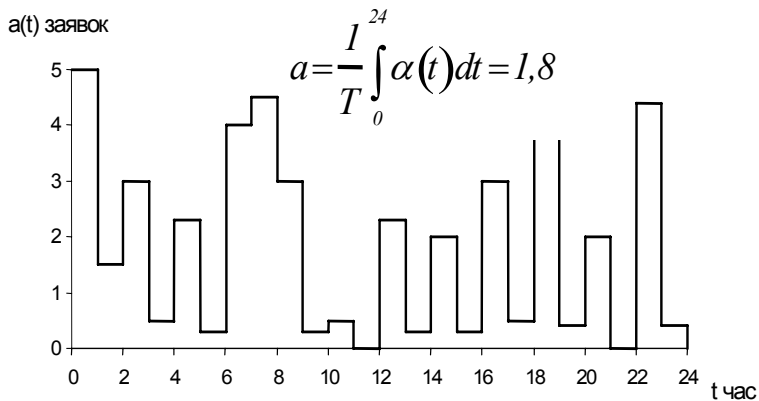
Распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, апрель

Рис. 5



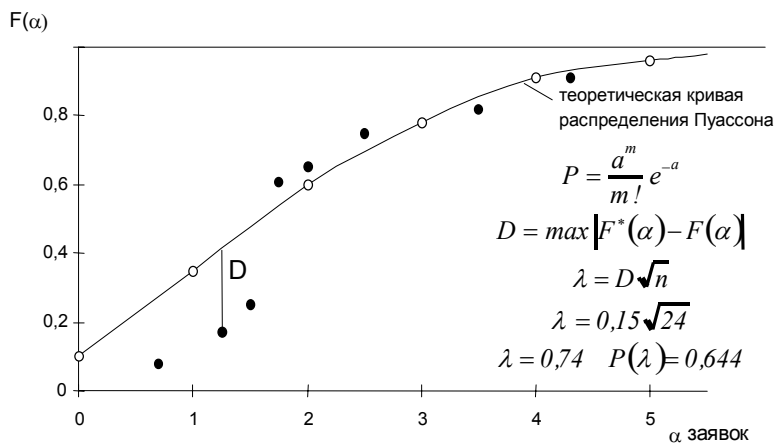
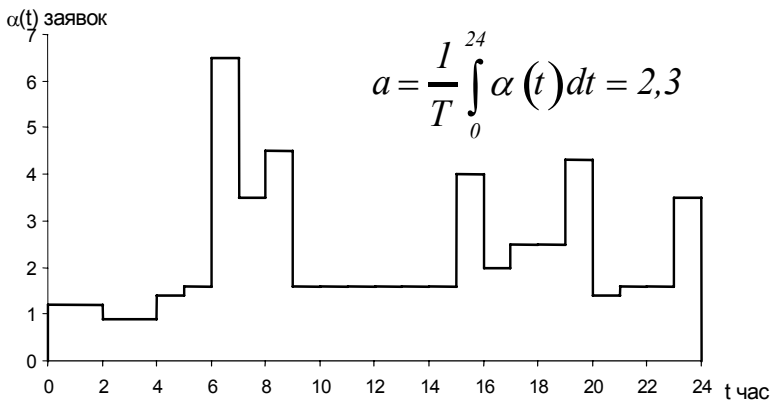
Выработка и распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, апрель

Рис. 6

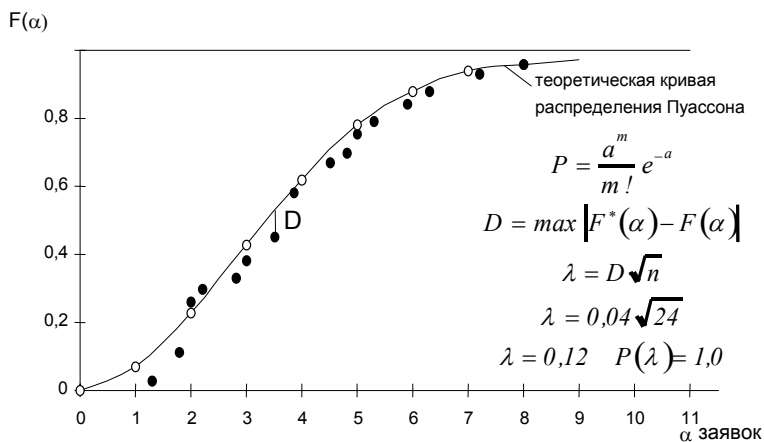
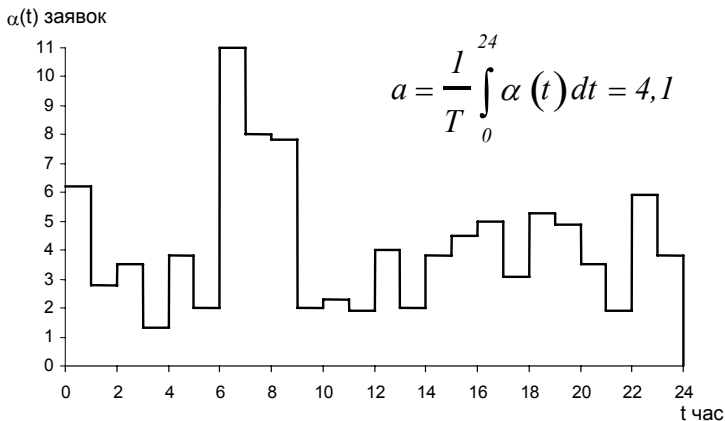


Выработка электроэнергии,  
средний рабочий день, июль

Рис. 7

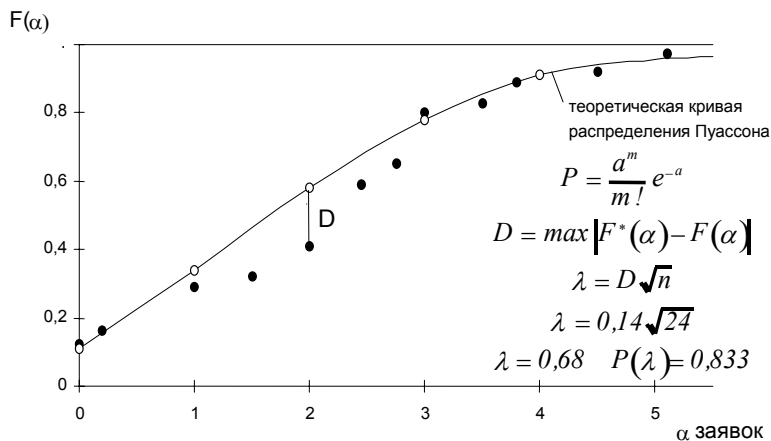
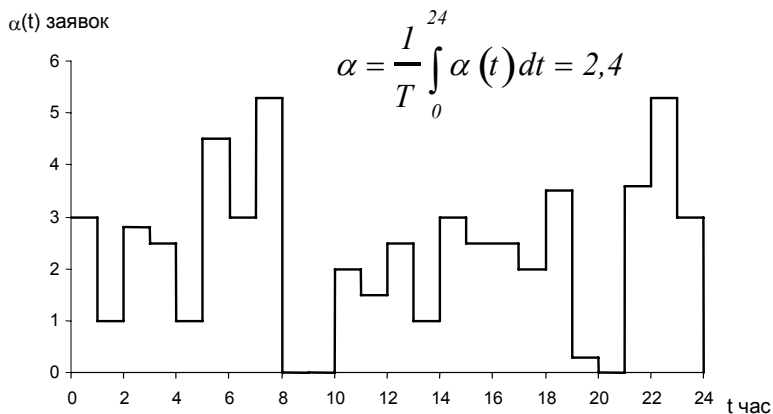


Распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, июль  
Рис. 8



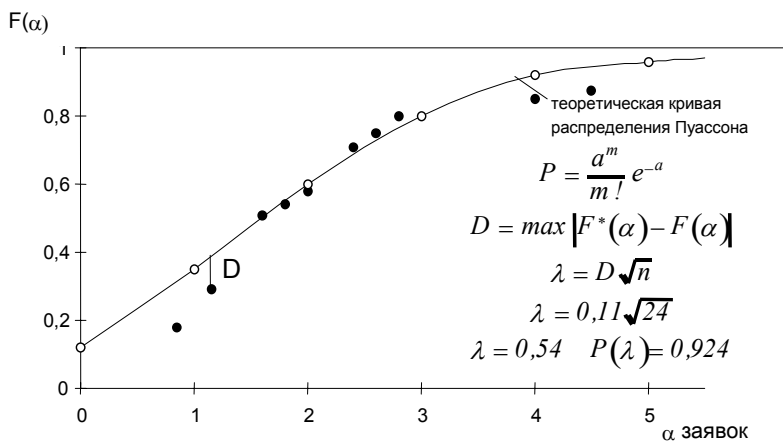
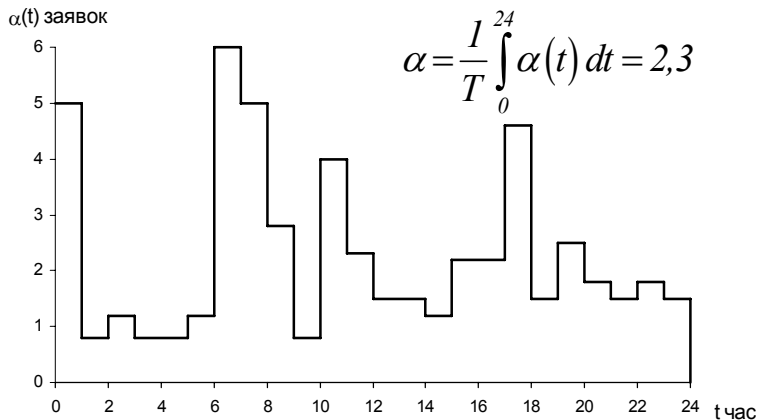
Выработка и распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, июль

Рис. 9



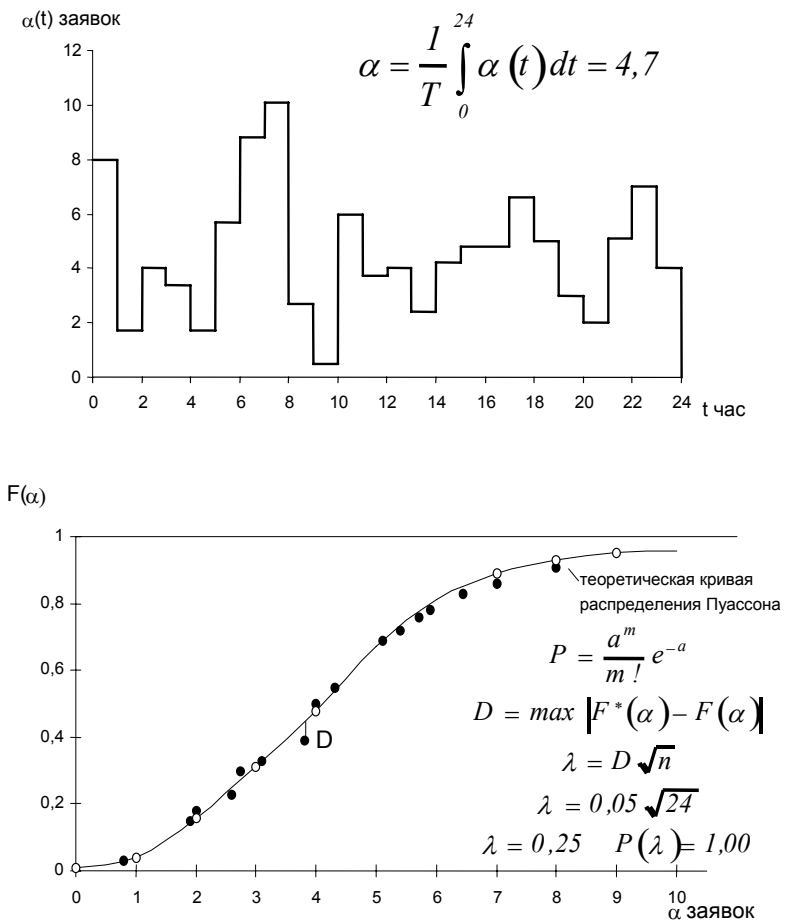
Выработка электроэнергии,  
средний рабочий день, октябрь

Рис. 10



Распределение электроэнергии,  
средний рабочий день, октябрь

Рис. 11



Выработка и распределение электроэнергии,  
 средний рабочий день, октябрь  
 Рис. 12

## 2. Длительность оперативных переговоров

Стратегия оперативного управления заключается в принятии решений, что требует определения текущего состояния энергосистемы. Так как управление производится по модели-пульту, лишь гомоморфно отображающему исходную систему, то значительная часть информации с объектов воспринимается диспетчером системы по телефону. В силу того, что время восприятия информации даже одного характера может меняться в значительных пределах в зависимости от подготовки, усталости, настроения персонала, то в общем случае длительность оперативных переговоров является случайной величиной. В теории массового обслуживания доказывается, что хорошим приближением распределения длительности телефонных разговоров является показательное, когда имеется большое число требований, для обслуживаний которых достаточно довольно малого времени и меньшее число требований с более длительным периодом обслуживания. В этом случае функция распределения времени обслуживания  $F(t)$  имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\nu t}, \quad (2.1)$$

где  $\nu$  - величина, обратная математическому ожиданию длительности обслуживания

$$\nu = \frac{1}{m}. \quad (2.2)$$

Естественно предположить, что телефонные переговоры в энергосистеме подчиняются общим положениям теории массового обслуживания.

Как отмечалось ранее, управление энергосистемой происходит в двух различных условиях: нормальных и аварийных.

Управление в нормальном режиме осуществляется, как правило, в условиях практически полной информации, в аварийном - отдельные этапы принятия решений часто выполняются при неполной информации. Однако, и в том и в другом случаях необходимо выполнение условия

$$p(\text{mod } S)D \rightarrow 1, \quad (2.3)$$

что означает стремление к единице вероятности правильного определения внешнего возмущения  $D$  по модели энергосистемы.

В пределе требуется перебор всего множества аварийных элементов -  $\mu e_a$  и их отношений -  $\mu Re_a$ . Так как согласно инструкциям от оперативных переговоров требуется четкость, лаконичность и обязательно полное взаимопонимание оперативных лиц, то следовательно, перебор множества  $\mu e_a$  и определение отношений  $\mu Re_a$  принципиально должно выполняться за одно и то же время независимо от условий, при которых происходит управление - нормальных или аварийных. Тем не менее в аварийных условиях время приема информации уменьшается и определяется тем, что происходит мобилизация внутреннего состояния диспетчера, которая определяется некоторой допустимой расслабленностью в нормальных условиях. В силу этого значительного (в несколько раз) различия во времени приема информации в нормальных и аварийных режимах наблюдаться не должно.

С целью проверки выдвинутых положений и определения соответствующих параметров в таблице 1 приводятся данные по длительности ведения оперативных переговоров диспетчерами системы Ленэнерго в нормальных и аварийных условиях.

Таким образом, средняя длительность переговоров диспетчера энергосистемы в нормальном режиме составляет 18-20 сек, в аварийном - 12-13 сек.

Таблица 1

Интервал, сек	режим	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60
Число переговоров.	норм	15.5	28.5	16	9.5	5	3.5	2
	авар	17	16	8	5	2	2	-
Средняя частота	норм	0.194	0.357	0.200	0.119	0.063	0.044	0.023
	авар	0.34	0.32	0.16	0.10	0.04	0.04	-
Математическое ожидание длительн. переговоров, $t$ , сек	норм	18.39						
	авар	12.84						
Функция распределения длительности переговоров, $F^*(t)$	норм	0.237	0.560	0.745	0.850	0.914	0.982	-
	авар	0.323	0.682	0.855	0.935	0.970	-	-
Критерии согласия	норм	$p=0.68 > 0.05$						
	авар	$p=0.42 > 0.05$						

### 3. Надежность работы диспетчера

Исследование надежности работы оперативно-диспетчерского персонала проведем методами, используемыми при анализе надежности технических устройств без учета психологических и других личностных качеств человека. Это существенное ограничение, накладываемое на результаты исследований. Прогнозирование надежности диспетчера в аварийных ситуациях с психологической точки зрения проводится в следующем параграфе. Следует учесть, что снижение вероятности безотказной работы до нуля не означает прекращения диспетчером выполнения своих функций, кривые характеризуют надежность работы диспетчера в целом.

Периодичность проведения противоаварийных тренировок, инструктажей, проверок знаний оперативно-диспетчерского персонала устанавливаются Директивными документами.

Каждое из этих мероприятий отдельно и вместе направлены на поддержание достаточной надежности работы оперативно-диспетчерского персонала энергосистем.

Представляет интерес исследовать их эффективность и соотношение между ними в решении поставленной задачи. При этом возможны два подхода: во-первых, сбор и обработка выявленных статистических данных по большому числу энергосистем; во-вторых, обработка статистических данных за достаточно длительный период, установленных с большой достоверностью, одной представительной энергосистемы.

Далее принят второй подход.

Оценка надежности оперативного управления энергосистемой складывается из двух показателей: надежности по управлению выработкой электроэнергии и надежностью по ее распределению. На рис. 13 приведены выявленные отказы диспетчерской вахты энергосистемы по распределению электроэнергии за 4 года. Отказов по выработке электроэнергии не выявлено. Это объясняется тем, что последние связаны с медленно меняющимися процессами, когда последствия ошибок легко предотвратить уже после их обнаружения. Статистические данные отказов соответствуют плану проведения испытаний по схеме  $[N, B, T]$

или  $[N, B, r]$  [1]. Здесь  $N$  обозначает число испытываемых элементов. В нашем случае  $N = 5$ , т.е. пять пар диспетчеров системы.  $B$  означает план, при котором отказавший элемент немедленно заменяется новым. В нашем случае это означает, что в течении всего рассматриваемого периода дежурство на объектах энергосистемы осуществляется двумя лицами. Через  $T$  обозначены планы, при которых наблюдения ведутся в течение времени  $T$  (здесь  $T$  - четыре года). Через  $r$  планы, в которых наблюдения ведутся до момента появления  $r$ -го отказа,  $[5, B, 4]$  или  $[5, B, 6]$ . Из рассмотрения рис.13 можно предположить, что опасность отказов диспетчеров величина постоянная. Так как для высоконадежных элементов значение  $\lambda T \ll 1$ , то условная плотность распределения моментов отказов практически совпадает с плотностью равномерного распределения, т.е.

$$\frac{\lambda \cdot e^{-\lambda T}}{1 - e^{-\lambda T}} \approx \frac{1}{T} \cdot \tag{3.1}$$

Проверка этого предположения для получения большей достоверности проведена по двум критериям: Колмогорова и Фишера.

отказ/год

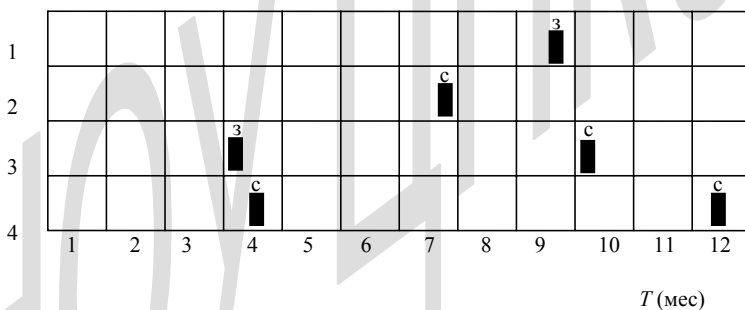


Рис. 13 Выявленные отказы диспетчерской вахты энергосистемы.

З - закономерный отказ

С - случайный отказ.

### Проверка гипотезы о постоянстве величины интенсивности отказов критерием Фишера

В таблице 2 указаны моменты возникновения отказов  $t_i$ , промежутки времени между отказами  $t_i - t_{i-1}$  и суммарные наработки между отказами  $S_i$ , где  $S_i = N \cdot (t_i - t_{i-1})$  при плане испытаний  $[N, B, r]$ .

Таблица 2

$t_i$	дни	253	555	819	1005	1215	1438
$t_i - t_{i-1}$	дни	253	302	264	186	210	223
$S_i$	дни	1256	1510	1320	940	1050	1115

$$i = 1, 2 \dots r, \quad r = r_1 + r_2,$$

положим  $r_1 = 3, r_2 = 3$ .

Тогда

$$\varphi(r_1, r_2) = \frac{r_2 \cdot \sum_{i=1}^{r_1} S_i}{r_1 \cdot \sum_{i=r_1+1}^{\infty} S_i} = 1.3. \quad (3.2)$$

Из таблиц однопроцентных пределов уклонения величины  $F$  в зависимости от степеней свободы  $k_1 = 2r_1$  и  $k_2 = 2r_2$  с уровнем значимости  $1 - \alpha = 0.9$  находим [ 1 ]

$$F_{0.99} (6.6) = 4.28; \quad F_{0.99} (6.6) > \varphi, \quad (3.3)$$

т.е. гипотеза о том, что интенсивность отказов диспетчеров энергосистемы величина постоянная критерию Фишера удовлетворяет.

### Проверка гипотезы о постоянстве величины интенсивности отказов критерием Колмогорова

В таблице 3 указаны моменты возникновения отказов  $t_i$ , а также величины  $\omega_i = \frac{t_i}{T}$ ,

$$F_{эмн}(\omega) = \frac{i}{d^*} \tag{3.4}$$

эмпирическая функция распределения, где

$$d^* = \begin{cases} d(T) & \text{при } t^* = T \\ d^* = r - 1 & \text{при } t^* = r. \end{cases} \tag{3.5}$$

Таблица 3

$t_i$	253	555	819	1005	1215	1438
$\omega_i$	0.173	0.38	0.56	0.72	0.833	0.986
$F_{эмн}(\omega)$	0.167	0.333	0.500	0.667	0.833	1.00

В таблице 4 даются численные значения величины  $D_{d^*}$  при  $1 \leq i \leq d$ , где

$$D_{d^*} = \sup |F_{эмн}(\omega) - \omega| = \max \left\{ \left| \frac{i-1}{d^*} - \omega_i \right|, \left| \frac{i}{d^*} - \omega_i \right| \right\}. \tag{3.6}$$

Таблица 4

$i$	1	2	3	4	5	6
$D_{d^*}$	0.167	0.166	0.167	0.166	0.166	0.139

Из таблиц критических значений максимального отклонения эмпирической функции распределения от теоретического с уровнем значимости  $1 - \alpha = 0.95$  [1] находим, что  $D_{n\alpha} = 0.536$ . При  $D_{d^*} > D_{n\alpha}$  гипотеза о том, что интенсивность отказов диспетчера энергосистемы величина постоянная критерию Колмогорова удовлетворяет.

В случае плана  $[N, B, T]$  поток отказов  $r(t)$  подчиняется закону Пуассона с интенсивностью  $\Lambda = \lambda \cdot N$ , и он является достаточной статистикой. Сами моменты отказов  $t_i$  никакой дополнительной информацией о параметре  $\Lambda$  не содержат.

Интенсивность отказов вахты диспетчеров энергосистемы равна

$$\lambda^1 = \frac{\kappa^{(1)}(T)}{N \cdot T}, \quad (3.7)$$

$$\lambda^1 = 0.025 \frac{\text{отк}}{\text{мес}}.$$

Квантили  $\Delta_\alpha(d)$  пуассоновского распределения  $L_d(\Delta_d(d)) = \alpha$  с коэффициентом доверия  $\alpha = 0.9$  равны  $\underline{\Delta}_\alpha(d) = 3.89$  и  $\bar{\Delta}_\alpha(d) = 10.53$ , откуда верхний  $\bar{\lambda}$  и нижний  $\underline{\lambda}$  доверительные интервалы  $\lambda = \frac{\Delta_\alpha(d)}{N \cdot T}$  равны

$$\bar{\lambda} = 0.044 \frac{\text{отк}}{\text{мес}}, \quad \underline{\lambda} = 0.016 \frac{\text{отк}}{\text{мес}}.$$

При постоянной интенсивности отказов функция надежности подчиняется экспоненциальному закону

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (3.8)$$

Квалификация операторов предполагается одинаковой, т.е.  $\lambda_1 = \lambda_2$ .

На рис. 14 построена приближенная функция надежности одной определенной диспетчерской вахты  $R(t) = e^{-0.025t}$  кривая - 1. Так как отказ вахты наступает тогда, когда допускают ошибку оба диспетчера одновременно, то с точки зрения надежности их следует рассматривать как элементы, включенные параллельно. Надежность такой системы равна

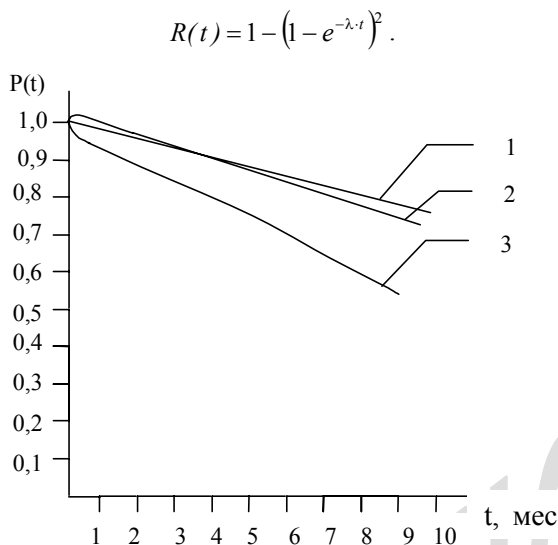


Рис.14. Функции надежности управления системой одной определенной диспетчерской вахтой.

Кривая 1 - приближенная функция надежности управления системой двумя диспетчерами.

Кривая 2 - уточненная функция надежности управления системой двумя диспетчерами

Кривая 3 - уточненная функция надежности управления системой одним диспетчером.

Поэтому более точный вид функция надежности управления системой диспетчерской вахтой, соответствующая формуле (3.8), представляется кривой 2 (рис.14). Она построена подбором параметра  $\lambda$  путем максимального приближения к кривой 1. Параметр  $\lambda = 0,075$  - интенсивность отказов одного диспетчера, входящего на вахту. Кривая 3 изображает функцию его надежности, т.е. функцию надежности управления системой при одиночном дежурстве. Эти кривые характеризуют надежность работы определенного диспетчера или определенной вахты. Можно предположить, что после совершения ошибки надеж-

ность снова поднимается до 1, т.к. это связано с последующим разбором неправильных действий, дополнительной подготовкой и, главное, самодисциплиной. Человек становится более внимательным, аккуратным при производстве не только сложных, но и простых операций. Для системы, однако, более важным является надежность управления вообще, а не отдельной диспетчерской вахтой, т.е. параметр  $\Lambda$ , а не  $\lambda$ , где

$$\Lambda = N \cdot \lambda, \quad \Lambda = 0.125 \frac{\text{отк}}{\text{мес}}.$$

Конечно, каждая допущенная ошибка разбирается со всеми диспетчерами, но фактор самодисциплины более действенен при совершении ошибки диспетчером лично.

На рис. 15 построены функции надежности диспетчерского управления энергосистемой, аналогично рис. 14 [1].

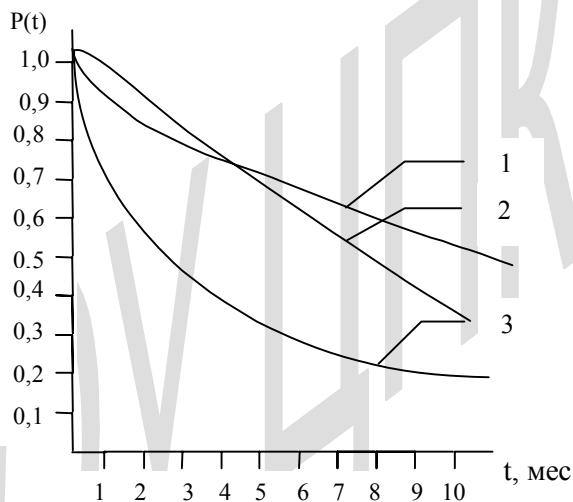


Рис.15. Функции надежности диспетчерского управления энергосистемой.

Кривая 1 - приближенная функция надежности диспетчерского управления системой двумя диспетчерами.

Кривая 2 - уточненная функция надежности диспетчерского управления системой двумя диспетчерами.

Кривая 3 - уточненная функция надежности диспетчерского управления системой одним диспетчером.

Каждую ошибку диспетчера - отказ - можно характеризовать как случайность или закономерность.

Деление отказов диспетчеров на случайные и закономерные выполнено по следующим признакам.

Закономерные - отказы, которые явились следствием незнания (забывания) персоналом соответствующих разделов директивных материалов.

Случайные - отказы, которые явились следствием промахов, т.е. когда персонал ясно представлял поставленную задачу и пути ее решения, но все же допустил ошибку.

За 4 года в системе Ленэнерго закономерных отказов выявлено 2, случайных - 4. Ранее было показано, что общая интенсивность отказов диспетчеров величина постоянная.

При делении общего потока отказов на случайные и закономерные по данной статистике этого утверждать нельзя.

Однако можно считать, что поток с постоянной интенсивностью образуется потоками также с постоянными интенсивностями  $\lambda_i$ , где  $\lambda = \sum_i \lambda_i$ .

Общая постоянная интенсивность  $\lambda$  может быть получена или постоянными составляющими, или переменными с обратно пропорциональным изменением. Последнее отпадает, т.к. вероятность возникновения отказа  $i$ -го типа равномерно распределена во времени потому, что считаем: диспетчеры не обладают предпочтением в обслуживании какого-либо типа заявок, что определяется их подготовкой, а также установлено, что не наблюдается роста числа отказов диспетчеров к концу смены и интенсивность поступления требований в течение года изменяется не слишком сильно.

Интенсивность закономерных отказов

$$\lambda^{(3)} = \frac{r^{(3)}(T)}{N \cdot T}, \quad \lambda^{(3)} = 0.042 \frac{\text{отк}}{\text{мес}}.$$

Интенсивность случайных отказов

$$\lambda^{(c)} = \frac{r^{(c)}(T)}{N \cdot T}, \quad \lambda^{(c)} = 0.084 \frac{\text{отк}}{\text{мес.}}$$

В данном случае  $N$  принимается равным единице, т.к., как отмечалось ранее, для системы более важен общий показатель надежности, а не надежность отдельной диспетчерской вахты или определенного диспетчера.

На рис. 16 показаны функции надежности диспетчерского управления энергосистемой, обусловленные закономерными (кривая 1) и случайными (кривая 2) отказами.

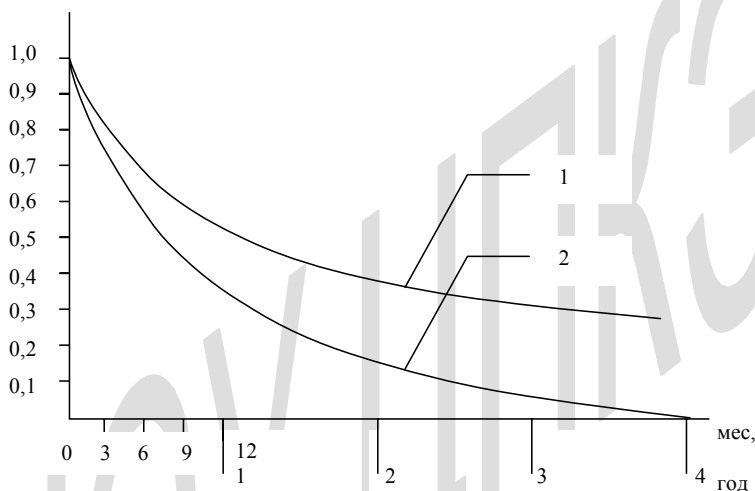


Рис.16. Функции надежности диспетчерского управления энергосистемой, определяемые закономерными (кривая 1) и случайными (кривая 2) отказами.

Путь уменьшения ошибок, связанных с закономерными отказами, - это занятия и экзамены по ПТЭ, ПТБ, производственным инструкциями, директивными материалами, т.е. повышение и поддержание на требуемом уровне технических знаний диспетчеров.

Путь уменьшения ошибок, связанных со случайными отказами - это инструктажи, собеседования и противоаварийные тренировки, т.е. повышение внимания и четкости в работе. Указанное деление не имеет абсолютного характера, т.к. несомненно их взаимное влияние, но в основном оно отражает существо вопроса.

За два года надежность, определяемая закономерными отказами, снижается до 0.37. Данный показатель, конечно, является низким. Если принять достаточно произвольно вероятность возникновения одного отказа по закономерным причинам равной 0.5 ( $P_3 = 0.5$ ) и учесть, что кривая 1 (рис. 14) является верхним пределом надежности, то срок проверки знаний диспетчерского персонала по ПТЭ, ПТБ, производственным инструкциям и другим директивным следует проводить ежегодно.

Надежность, определяемая случайными отказами, до величины 0,5 ( $P_c = 0.5$ ) с учетом сказанного ранее снижается за 5 - 6 месяцев. Имея в составе диспетчерской службы 10 - 12 дежурных диспетчеров, работу с ними следует проводить примерно раз в 2 недели с каждым, т.е. практически непрерывно.

#### 4. Прогнозирование надежности диспетчера в аварийных ситуациях

При изучении надежности работы диспетчера с психологической точки зрения [2], как правило, рассматриваются следующие параметры:

1. Психофизиологические:
  - свойства нервной системы;
  - билатеральное регулирование головного мозга;
  - реактивность;
  - адаптивность;
  - работоспособность;
  - время реакций.
2. Психологические:
  - свойства внимания;
  - оперативная память;
  - оперативное мышление;
  - устойчивость;
  - полнезависимость;
  - темперамент.
3. Социально-психологические:
  - мотивация;
  - целеустремленность;
  - индивидуальный стиль деятельности;
  - коммуникабельность;
  - срабатываемость.

Каждый из этих параметров имеет важное значение для профотбора, обучения и овладения профессиональными навыками и широко применяется в диагностических целях, т.е. устанавливает уровень развития качества на данном этапе времени. В процессе профессиональной деятельности у диспетчеров вырабатываются профессионально-значимые качества, которые способствуют развитию одних психологических свойств и компенсируют недостаточное развитие других. Поэтому, для прогнозирования надежности работы диспетчера в аварийной ситуации недостаточно критериев, выработанных для целей проф-

отбора и обучения оперативного персонала – необходимо проводить психологическую диагностику для получения оценки профессионально-значимых качеств.

Кроме уровня развития профессионально-значимых качеств на надежность работы диспетчера в экстремальной ситуации влияет его функциональное состояние. Под функциональным состоянием понимается кратковременное психическое состояние. Для целей прогнозирования в психологической оценке учитываются те психологические характеристики состояния человека, которые сохраняются длительное время.

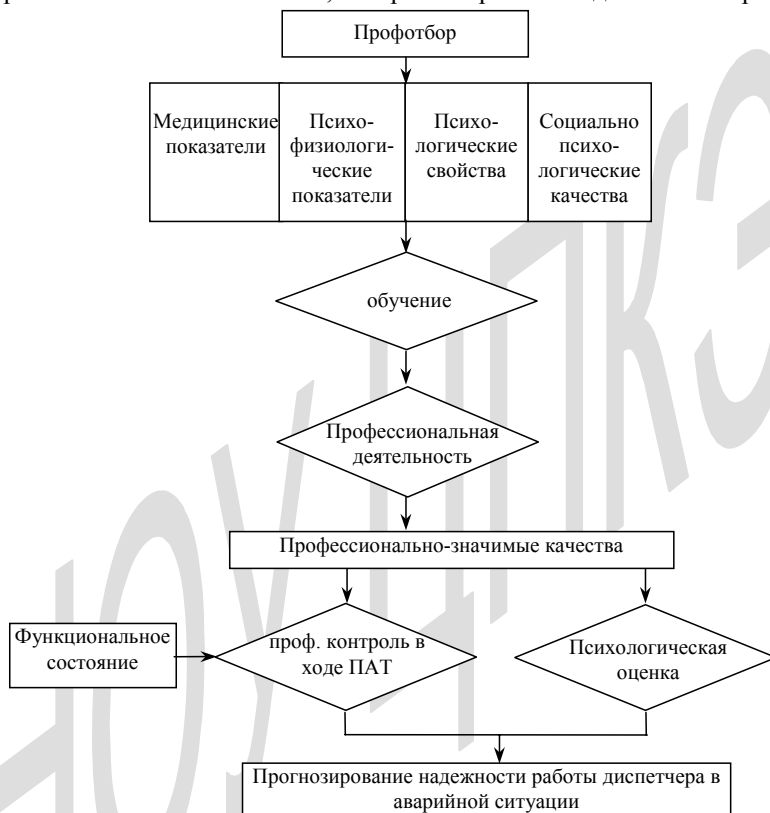


Рис.17. Прогнозирование надежности работы диспетчера в аварийной ситуации

Данные, полученные в результате психологической диагностики, сопоставим с результатами работы в ходе противоаварийной тренировки (ПАТ). Результаты работы диспетчера явились объективным показателем надежности работы оператора в экстремальных условиях. Известный психолог Б.Ф.Ломов отмечал: «На основе изучения работоспособности оператора можно предсказать как будет изменяться скорость и точность его действий в течении его работы. Однако, для определения надежности "...более важно знать, как оператор будет вести себя в условиях, затрудняющих нормальный ход его деятельности...".

Кроме количественного сопоставления объективных показателей надежности оператора в ходе ПАТ с психологической оценкой профессионально-значимых качеств оператора и его психологического состояния, для прогнозирования надежности проводится качественный анализ личного фактора. «Личный фактор» - это совокупность индивидуальных особенностей конкретного человека, которые могут явиться причиной возникновения ошибочных действий, т.е. могут быть связаны с причинами возникновения, характером течения и исходом нарушений в деятельности.

Противоаварийные тренировки диспетчеров энергосистемы проводились на конкретных вероятных аварийных ситуациях, которые могут иметь место в их энергосистемах. Перед каждым диспетчером стояла задача ликвидации аварийной ситуации на его рабочем месте. Задачи имели разную степень трудности, поэтому кроме оценки успешности и правильности действий в ходе ПАТ  $[b]$  (оценка по пятибалльной шкале, где 5 – правильные и успешные действия без замечаний) был введен коэффициент трудности задачи  $[k]$  в пределах 0,1-1,0, где  $k=1,0$  – самая сложная задача. Обобщенной оценкой надежности работы оператора в ходе ПАТ было произведение коэффициента трудности задачи и оценки правильности действий оператора  $[b] \times [k]$ .

Психологическая оценка производилась по апробированным методикам-тестам Айзенка и Люшера. Тест Айзенка состоит из трех шкал: **шкалы нейротизма**, которая изучает уровень психологической устойчивости личности (от 0 до 24 баллов), **шкалы экстраверсии-интроверсии**, определяющей направленность личности (от 0 до 24 баллов) и **вспомогательной шкалы**, оценивающей достоверность

полученных данных (от 0 до 12 баллов). Тест Люшера является проективной методикой и позволяет сделать качественный анализ личности по параметрам: энергетизма, волевых решений, целеустремленности, отношений с людьми, конфликтности, отношения к будущему, самооценки, внутреннего потенциала и личностных проблем. Помимо этого, данные, полученные по тесту Люшера, использовались для оценки функционального состояния диспетчеров по методике д.пс.наук А.И.Юрьева “Экспресс-оценка отрицательных практических состояний операторов”. Функциональное состояние оценивалось по пятибалльной шкале, где 5 – отсутствие отрицательных практических состояний, 1 – наибольшее психическое напряжение. Под отрицательным практическим состоянием понимается психическое утомление, тревожность, психическая напряженность, эмоциональный стресс, монотония, возникающие в зависимости от условий деятельности человека-оператора.

### Обработка результатов

На первом этапе была проведена группировка данных, исходя из сложности решаемой задачи.

Таблица 5

№ класса	Коэффициент трудности задачи	Количество задач
9	0.96-1.00	2
8	0.89-0.95	0
7	0.82-0.88	1
6	0.75-0.81	2
5	0.68-0.74	1
4	0.51-0.67	6
3	0.44-0.50	2
2	0.37-0.43	2
1	0.30-0.36	1

По этим данным построена кривая нормального распределения.

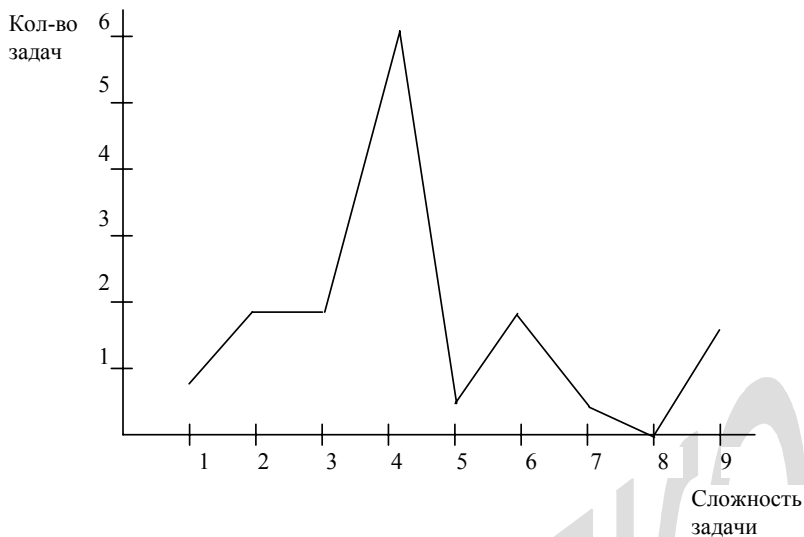


Рис. 18. Группирование задач по сложности

Проведен корреляционный анализ обобщенной оценки [кв] оператора в ходе ПАТ и психологической оценки функционального состояния.

Таблица 6

№ уч-ка	КВ	ФС	$R_x$	$R_y$	$\Delta 1$	$\Delta 2$
1	3.75	5	1	2	1	1
2	3.5	5	2	2	0	0
3	3.4	1	3	10	7	49
4	3.25	3	5	8	3	9
5	3.3	5	4	2	2	4
6	3.0	4	6.5	5.5	1	1
7	3.0	2	6.5	9	2.5	6.25
8	2.5	4	8	5.5	2.5	6.25
9	2.4	4	9	5.5	3.5	12.25
10	2.1	4	10	5.5	4.5	20.25

Полученный коэффициент ранговой корреляции обобщенной оценки и функционального состояния не является значительным, но тенденция явно выражена. Интерпретировать этот показатель можно с двух позиций:

1. Неравномерная сложность решаемых задач.
2. Личные качества некоторых испытуемых, которые способны преодолеть негативные функциональные состояния.
3. Недостоверность данных тестирования в одном из случаев.

Для упразднения первой причины все задачи были разделены на три группы (легкие, средние, трудные) и вычислены коэффициенты ранговых корреляций между надежностью, функциональным состоянием, устойчивостью и экстремизированностью.

### 1. Группа сложных задач

Таблица 7

№	КВ	ФС	Уст	Экстр.
1	3.5	5	12	14
2	4.2	4	6	13
3	3.3	1	12	9
4	3.7	5	12	12
5	2	2	2	9

### Корреляционная матрица

Таблица 8

	КВ	ФС	Уст	Экстр.
КВ		0.6 $\rho_1$	0.3 $\rho_2$	0.7 $\rho_3$
ФС			0.5 $\rho_4$	0.8 $\rho_5$
Уст				0.4 $\rho_6$
Экстр.				

## II. Группа средних задач

Таблица 9

№	КВ	ФС	Уст	Экстр.
1	3.5	5	10	7
2	3.3	5	19	9
3	3.2	3	2	7
4	3.0	4	9	7
5	3.0	2	7	10

## Корреляционная матрица

Таблица 10

	КВ	ФС	Уст	Экстр.
КВ		0.7 $\rho_1$	0.6 $\rho_2$	-0.98* $\rho_3$
ФС			0.88 $\rho_4$	-0.93 $\rho_5$
Уст				0.2 $\rho_6$
Экстр.				

## III. Группа легких задач

Таблица 11

№	КВ	ФС	Уст	Экстр.
1	2.5	4	11	9
2	2.4	4	6	9
3	1.8	3	8	5
4	1.8	3	14	11
5	1.5	4	6	15

### Корреляционная матрица

Таблица 12

	КВ	ФС	Уст	Экстр.
КВ		0.35	- 0.1	-0.65
ФС			-0.35	0.6
Уст				0.4
Экстр.				

### Интерпретация полученных данных

После проведения корреляционного анализа по трем группам, различающимся сложностью решаемых задач, можно сделать следующие выводы.

1. Получен коэффициент значимой 5% корреляции между обобщенной оценкой и уровнем экстраверсии в группе средних задач. Коэффициент официальный, т.е. интровертированность способствует надежности работы оператора.

2. В группах средних и сложных задач существует корреляция между обобщенной оценкой и функциональным состоянием, в группе легких задач корреляция мало значима. Следовательно, функциональное состояние больше влияет на эффективность решения сложных и средних задач и оказывает незначительное влияние на решение легких задач.

3. Корреляция между обобщенной оценкой и функциональным состоянием выше в группе средних задач, по сравнению с группой сложных задач. Возможно предположить, что надежность оператора более достоверно прогнозируется при решении задач средней трудности в аварийных ситуациях, тогда как при решении сложных задач возможно возникновение сложно прогнозируемых состояний, например, отказ оператора или, наоборот, повышенная мобилизация внутренних потенциалов человека.

4. Для более точного прогнозирования надежности оператора в аварийной ситуации необходим качественный анализ личных особенностей диспетчера. Например, диспетчер П., решавший задачу  $k = 0,75$  - группа сложных задач, получил оценку 5, функциональное состояние - 5, но в начале ПАТ наблюдалось чрезмерное волнение, растерянность, напряженность, однако он сумел вскоре преодолеть излишнее волнение и эффективно справиться с решением задачи. Анализируя его психологические особенности, полученные по методике Люшера, видно, что диспетчер может быть нетерпеливым, суетливым с нарушением способности к концентрации внимания и интеллектуальных сил в сложных ситуациях, что и наблюдалось на практике.

5. Оценка функционального состояния диспетчера позволяет прогнозировать надежность его работы в сложных ситуациях.

### 5. Оптимальное составление диспетчерских вахт

Численность персонала диспетчерских служб энергосистем, как правило, не превышает одного-двух десятков человек. Существует некоторая разница в уровне подготовки, в практическом опыте, психических качествах и т.д. диспетчеров.

При комплектовании пар в вахты всегда учитываются эти характеристики, но числовые показатели, позволяющих обосновать наилучший вариант, не используются. Далее предлагается один из возможных путей решения этого вопроса [3].

Пусть диспетчерская служба состоит из  $2n$  человек:  $A_1... A_{2n}$ , из них  $A_1, A_2...A_n$  составляют группу старших диспетчеров, а остальные  $A_{n+1}...A_{2n}$  - диспетчеры. Вахты комплектуются по два - старший диспетчер и диспетчер.

Из многообразия всех качеств, определяющих квалификацию диспетчера выберем  $K$  основных признаков.

Произведем ранжирование всех диспетчеров по этим признакам, обозначив признаки через  $X_1, X_2...X_k$ . Ранжирование предполагает присвоение порядковых номеров диспетчерам относительно друг друга по степени убывания данного признака. Тогда подготовка каждого диспетчера характеризуется  $K$  числами - рангами признаков  $X_1, X_2...X_k$ , что может быть сведено в таблицу 13, где  $X_{im}$  означает  $i$ -тый признак  $m$ -го диспетчера.

Таблица 13

	$A_1$	$A_2$	...	$A_m$	...	$A_{2n}$
$X_1$	$X_{11}$	$X_{12}$		$X_{1,m}$		$X_{1,2n}$
$X_2$	$X_{21}$	$X_{22}$		$X_{2,m}$		$X_{2,2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$X_k$	$X_{k1}$	$X_{k2}$		$X_{k,m}$		$X_{k,2n}$

Поставим в соответствии квалификации диспетчера  $A_{mk}$ -мерный радиус-вектор  $R_m\{X_{1m}, X_{2m} \dots X_{km}\}$

$$R_m = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_{im}^2}. \tag{5.1}$$

Будем рассматривать модуль этого вектора как суммарный показатель деловых качеств диспетчера. Тогда обобщенным показателем  $R_{mp}$  вахты, состоящей из старшего диспетчера  $A_m$  и диспетчера  $A_p$  будет

$$R_m = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_{im} - x_{ip})^2}. \tag{5.2}$$

Вычислим для каждой из возможных  $n!$  комбинаций пар величину  $D_\eta$ , являющуюся абсолютным отклонением показателей рассматриваемой комбинации пар от среднего значения  $R_{cp}$ .

$$\begin{aligned} &|R_{1e} - R_{cp}| + |R_{2m} - R_{cp}| + \dots + |R_u - R_{cp}| = D_\eta \\ &n + 1 \leq l, m \dots u \leq 2n; l \neq m \neq \dots \neq u; \eta = 1, 2 \dots n!, \end{aligned} \tag{5.3}$$

где

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{2n}}{n}. \tag{5.4}$$

Минимальное значение  $D_\eta = \min$  дает оптимальный вариант составления вахт.

Рассмотрим пример.

Пусть диспетчерская служба состоит из 6 диспетчеров - 3 старших диспетчеров и 3 диспетчеров. Требуется оптимальным образом составить вахты из двух человек, учитывая два показателя:

$X_1$  - уровень теоретических знаний,

$X_2$  - стаж работы.

Проранжируем диспетчеров  $A_i$  по этим двум показателям (табл.14)

Таблица 14

$A_m$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
$X_1$	4	1	3	2	5	6
$X_2$	1	3	2	4	6	5
$R_m$	4,1	3,2	3,6	4,4	7,8	7,8

В таблицу 15 сведем результаты вычислений обобщенных показателей  $R_{mp}$  всех возможных пар.

Таблица 15

	A1	A2	A3
A4	7,8	7,6	7,8
A5	11,4	10,9	11,2
A6	11,6	10,6	11,4

Составим различные комбинации пар согласно (4.3)

$$1. |R_{14} - R_{cp}| + |R_{25} - R_{cp}| + |R_{36} - R_{cp}| = 4.2,$$

$$2. |R_{24} - R_{cp}| + |R_{35} - R_{cp}| + |R_{13} - R_{cp}| = 4.9,$$

$$3. |R_{34} - R_{cp}| + |R_{26} - R_{cp}| + |R_{15} - R_{cp}| = 3.9,$$

$$4. |R_{34} - R_{cp}| + |R_{25} - R_{cp}| + |R_{16} - R_{cp}| = 4.4,$$

$$5. |R_{15} - R_{cp}| + |R_{24} - R_{cp}| + |R_{36} - R_{cp}| = 4.9,$$

$$6. |R_{14} - R_{cp}| + |R_{26} - R_{cp}| + |R_{35} - R_{cp}| = 4.7.$$

Условие  $D_3 = \min$  выполняется для  $D_3=3.9$ , что соответствует следующему предпочтению объединения диспетчеров в пары

$$(A_1, A_5), (A_2, A_6), (A_3, A_4).$$

Полученные рекомендации не являются абсолютными и раз и навсегда установленными. Во-первых, значительная часть параметров может варьироваться, что зависит от интереса диспетчера к работе, желания повышать свою квалификацию, морального и материального стимулирования, текучести кадров и т.д. Все это сказывается на повторных этапах ранжирования. Кроме того, необходим учет психологической совместимости диспетчеров полученных вахт, что также налагает определенные ограничения. Большинство отмеченных задач входит в область исследований инженерной психологии. Психологические качества, которым должен удовлетворять диспетчерский персонал и которые необходимо учитывать при составлении, указаны в П4.

Кроме того, диспетчер должен обладать хорошим здоровьем, иметь нормальное зрение и слух, а из специфических - достаточно легко

переносить ночное бодрствование. Последнее обстоятельство не является простым, так как физиологически человеческий организм живет суточным режимом. В связи с этим на диспетчера накладываются требования самодисциплины и соблюдения особого режима труда и отдыха. В тесном переплетении психологических и профессиональных качеств стоит и такое, как способность диспетчера оптимально отыскивать алгоритмы управления в различных ситуациях, что наиболее полно характеризует интеллектуальные способности человека и его склонность к оперативной работе.

## 6. Распределение обязанностей в вахте

Оперативное управление энергосистемой обычно осуществляется двумя диспетчерами, реже одним или тремя. Распределение функций между диспетчерами одной вахты является важной задачей в обеспечении надежности управления. Далее этот вопрос рассмотрен применительно к диспетчерской вахте энергосистемы, состоящей из двух дежурных диспетчеров.

Поступающий поток заявок и распределение функций между диспетчерами можно разделить на поток по выработке электроэнергии и по ее распределению. Это наиболее естественное возможное деление. Ранее было установлено, что поток заявок, поступающий диспетчеру энергосистемы, - простейший. Также было найдено, что продолжительность обслуживания заявок подчиняется показательному закону распределения. При этих условиях применимы используемые в дальнейшем методы теории надежности технических устройств и теории очередей.

Предположим, что, согласно сказанному ранее, общий поток требований  $I$  разделен на  $I_1$  и  $I_2$

$$I = I_1 + I_2. \quad (6.1)$$

На основе статистических данных можно установить интенсивность отказов, вызываемую потоками  $I_1$  и  $I_2$ , т. е. вероятности безотказной работы -  $R$ . Считается, что  $R_i = f(I_i)$ , т.е. диспетчеры не обладают предпочтением к обслуживанию какого-либо вида потока заявок. Если проводить деление функций между диспетчерами, то их следует рассматривать как систему с последовательно включенными элементами, результирующая надежность которой равна

$$R^1 = R_1 \cdot R_2. \quad (6.2)$$

Если деление общего потока заявок не проводить, то диспетчеров следует рассматривать как параллельно работающие элементы. Надеж-

ность такой системы при сделанных ранее допущениях о постоянстве интенсивности отказов равна

$$R^2 = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2. \quad (6.3)$$

Так как  $R_1 < 1$  и  $R_2 < 1$  и положим  $R_1 \leq R_2$

$$R_1 R_2 < R_1. \quad (6.4)$$

С другой стороны

$$R_1 \leq \frac{R_1 + R_2}{2} \leq R_2. \quad (6.5)$$

Следовательно, по условию

$$R_1 R_2 \leq \frac{R_1 + R_2}{2}, \quad (6.6)$$

что и приводит к условию

$$R^1 < R^2, \quad (6.7)$$

из соотношений

$$R^2 = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2$$

получим

$$R_1 R_2 \leq \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Таким образом, вероятность безотказной работы диспетчерской вахты с равноправными функциями выше, чем при раздельном управлении.

Другим важным аспектом теории управления является оперативность в работе. Длительность обслуживания заявки не является показателем качества обслуживания. За такой показатель принимается средняя длина очереди требований, ожидающих обслуживания. Лучшим следует считать то обслуживание, при котором один и тот же поток заявок вызывает меньшую очередь.

Одним из основных понятий теории очередей является нагрузка  $\rho$  - безразмерная величина, определяемая отношением среднего значения длительности обслуживания одного требования к среднему значению длины интервала времени между поступлениями последовательных требований [4].

$$\rho = \frac{\alpha}{\nu}. \quad (6.8)$$

Нагрузка представляет собой долю времени, в течении которого диспетчер занят обслуживанием. Другое основное понятие теории очередей - вероятность нахождения системы в состоянии  $A_n$ , т.е. в состоянии, при котором в очереди находятся  $n$  требований, включая то, которое обслуживается -  $p_n$ .

Для однолинейной системы, на которую поступает простейший поток требований и показательным распределением длительности обслуживания, имеем

$$p_n = (1 - \rho) \cdot \rho^n. \quad (6.9)$$

Вероятность того, что оператор свободен

$$p_0 = 1 - \rho \quad (6.10)$$

и средняя длина очереди

$$q_n = \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (6.11)$$

Для двухлинейной системы соответственно

$$\rho = \frac{\alpha}{m \nu}, \quad (6.12)$$

где  $m$  - число параллельных каналов.

$$p_n = 2\rho^n \frac{1 - \rho}{1 + \rho}, \quad (6.13)$$

$$p_0 = \frac{1-\rho}{1+\rho}, \quad (6.14)$$

$$q_n = \frac{2\rho}{1-\rho}. \quad (6.15)$$

Продолжительность обслуживания принимается одинаковой при любой ее организации.

Задача заключается в определении знака неравенства в выражении

$$\frac{2\rho}{1-\rho^2} < \frac{\rho'}{1-\rho'} + \frac{\rho''}{1-\rho''} < \frac{2\rho}{1-\rho^2}. \quad (6.16)$$

Левая часть выражения (6.16) представляет собой суммарную среднюю длину очереди при раздельном управлении, правая - среднюю длину очереди двухлинейной системы,  $\alpha' + \alpha'' = \alpha$

$$\frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\alpha}{v-\alpha}, \quad (6.17)$$

Преобразуем левую часть выражения (6.16)

$$\frac{\alpha'}{v-\alpha'} + \frac{\alpha''}{v-\alpha''} = \frac{v\alpha - 2\alpha'\alpha''}{(v-\alpha')(v-\alpha'')}, \quad (6.19)$$

правую

$$\frac{2\rho}{1-\rho^2} = \frac{v\alpha}{v^2 - \frac{\alpha^2}{4}}. \quad (6.20)$$

Знак неравенства в выражении (6.16) определим из условия существования стационарного распределения вероятностей  $p_n$ . Оно существует при [4]

$$\rho < 1. \quad (6.21)$$

После преобразований (6.20) получим

$$v > \frac{3\alpha'\alpha''}{\alpha} - \frac{\alpha}{4} > v. \quad (6.22)$$

Для нормированного потока  $\alpha = 1$ , тогда в силу (6.21.)  $v > 1$  имеем

$$\frac{3\alpha''\alpha''}{\alpha} - \frac{\alpha}{4} \leq 0.5. \quad (6.23)$$

Таким образом, правая часть выражения (6.23.) не превосходит 0.5. Так как  $v > 1$ , то следует

$$v > 0.5$$

или

$$v > \frac{3\alpha'\alpha''}{\alpha} - \frac{\alpha}{4}. \quad (6.24)$$

Это соответствует условию

$$\frac{\rho'}{1-\rho'} + \frac{\rho''}{1-\rho''} > \frac{2\rho}{1-\rho^2}, \quad (6.25)$$

т.е. средняя длина очереди при отдельных функциях операторов больше, чем при равноправных.

Таблица 16 содержит результаты расчетов рассматриваемых параметров для одной из энергосистем.

1 столбец - энергосистемой управляет один диспетчер,

2 столбец - энергосистемой управляют два диспетчера с отдельными функциями.

$D_1$  - первый выработкой электроэнергии,

$D_2$  - второй распределением электроэнергии,

3 столбец - энергосистемой управляют два диспетчера с равноправными функциями.

Расчеты показывают, что при равноправии достигается более равномерная загрузка диспетчеров, хотя вероятность того, что диспетчеры свободны  $p_0$  незначительно превышает незанятость одного диспетчера при управлении той же энергосистемой. Вероятность же существования средней длины очереди  $q_n$  значительно снижается.

Таблица 16

Вариант управления	I	II		III
Число диспетчеров в вахте	1	2		2
Распределение обязанностей между диспетчерами	-	а) диспетчер D <sub>1</sub> управляет выработкой электроэнергии	б) диспетчер D <sub>2</sub> управляет распределением электроэнергии	равноправные
$\rho$	0.4	0.245	0.156	0.200
$\rho_0$	0.6	0.755	0.844	0.666
$q_n$ (мин)	0.66 6	0.335	0.185	0.417
		0.520		

## 7. Предельный объем энергосистемы по условиям диспетчерского управления

Задача нахождения предельного объема энергосистемы по управлению в комплексе “человек-система” представляет собой настолько сложную проблему, что вызывает серьезные сомнения в возможности ее решения в общем виде. Широкие исследования объема памяти человека как оператора не привели пока к оценке оптимального и предельного количества принимаемых решений человеком за заданный промежуток времени без учета конкретного вида деятельности. В связи с этим возникает вопрос о существовании предельных возможностей человека, как управляющего звена в его принципиальных и практических формах [5].

Уравнение управления энергосистемой имеет вид:

$$(mod S) D: \sum \lambda_{ij} : E_{SK}(t) \rightarrow E_{SO}. \quad (7.1)$$

Оно означает, что диспетчер энергосистемы должен определить внешнее возмущение и выработать алгоритм управления, переводящий систему из аварийного состояния в исходное.

Данный перевод системы осуществляется путем последовательных переводов и содержит  $\sum \lambda_{ij}$  шагов.

Порядок выбора каждого шага из  $\sum \lambda_{ij}$  определяется в соответствии со стратегией управления. Согласно закону необходимого разнообразия У.Т.Эшби для управления энергосистемой диспетчер должен иметь не меньшее разнообразие воздействий на энергосистему, чем разнообразие ее переходов из одного состояния в другое.

Если система состоит из  $n$  элементов, каждый из которых может находиться в двух состояниях — рабочее и нерабочее, то всего система имеет  $2^n$  состояний. Алгоритмов переходов будет  $2^n - 1$ , а различных путей переводов системы из поглощающего состояния  $E_p$  в исходное  $E_0$  равно  $n!$  При  $n=100$ , что характеризует систему небольших размеров  $2^n = 2^{100}$  представляет громадное число, причем  $n! > 2^n$ , так как

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{2^n} = \infty \quad (7.2)$$

Практически запрограммировать все пути переводов системы из  $i$ -тых состояний в  $j$ -тые невозможно, то есть системой такой сложности было бы нельзя управлять, если бы не следующие обстоятельства:

1) количество переходов системы  $i \rightarrow j$  значительно меньше переходов  $0 \rightarrow p$ , так как система поглощающих состояний практически не достигает;

2) диспетчеру не требуется знание всех переводов системы из  $i$  в  $j$  состояния -  $n!$ . Он должен знать только ситуационные алгоритмы управления, которых не более  $2^n - 1$ .

Следовательно, существуют сильные ограничения разнообразия, вносимые структурой энергосистемы.

Однако  $2^n - 1$  ситуационных алгоритмов диспетчер должен знать, то есть объем управления тесно связан с объемом памяти человека, как оператора. Объем памяти человека зависит от количества релевантной информации и не является абсолютной величиной. Общепринятой математической модели памяти не существует.

Обучение человека заключается в “целенаправленном формировании моделей в коре головного мозга и их тренировки”. Если представить мозг, как механическую модель, состоящую из  $10^{10}$  нейронов, каждый из которых является хранителем информации и может находиться в возбужденном или невозбужденном состояниях, то всего он будет иметь  $Q = 2^{10}$  состояний, что кажется дает возможность управлять системами огромных порядков. Следовательно, такое количество нейронов позволяет создать полное множество моделей энергосистемы даже на примитивном уровне рассмотрения функционирования нейтронов без ассоциативных признаков. Мозг функционирует иначе. Практически пределов с данной точки зрения нет, что соответствует действительности, так как диспетчер может понять требуемые алгоритмы управления любого количества любых объектов энергосистемы.

Таким образом, предельный объем управления определяется сохранением моделей управления во времени, знанием ситуационных

алгоритмов управления и оперативной готовностью обслуживания потоков поступающих требований.

Показателем оперативности является длина очереди требований, ожидающих обслуживания. Если обозначить через  $\alpha$  среднюю длительность поступления требований и предположить, что время обслуживания распределено по показательному закону со средним значением  $\nu^{-1}$ , то уравнения равновесия системы имеют вид [4]:

$$\begin{aligned} \alpha p_0 &= \nu p_1, \\ (\alpha + \nu) p_1 &= \alpha_0 p_0 + \nu p_2, \\ &\vdots \\ (\alpha + \nu) p_n &= \alpha p_{n-1} + \nu p_{n+1}, \end{aligned} \quad (7.3)$$

где  $p_n$  - вероятность того, что система находится в состоянии  $n$ , то есть в очереди находится  $n$  требований, включая то, которое обслуживается.

Условие нормировки

$$p_0 + p_1 + \dots + p_n = 1. \quad (7.4)$$

Решение системы (7.3) дает

$$p_0 = \sum_{n=0}^{\infty} \rho^n = 1,$$

откуда

$$p_n = (1 - \rho) \rho^n, \quad (7.5)$$

где

$$\rho = \frac{\alpha}{\nu}. \quad (7.6)$$

Так как равенство (7.5) представляет собой распределение вероятностей только при условии  $\rho < 1$ , то только при этом условии существует стационарное распределение. Это значит, что диспетчер может обслуживать больше, чем одно требование прежде поступления следующего.

Как было найдено ранее, минимальная длительность обслуживания требования диспетчером в энергосистеме имеет порядок  $t_i = 10-12$  с, откуда по (6.6) при  $\rho \approx 1$  можно получить, что предельные возможности управления составляют интенсивность поступления требований  $\alpha = 5 \div 6$  тр/мин.

Различие в терминах "заявка" и "требование" состоит в следующем. Для диспетчера "заявка" - это может быть заявка на вывод ЛЭП в ремонт, но для ее реализации диспетчер должен обслужить несколько "требований" - обращений к вышестоящим и нижестоящим оперативным лицам для выполнения этой заявки.

## **8. Проведение и оценка противоаварийных тренировок**

### **8.1. Деловые игры**

Одной из основных форм обучения персонала в энергетике являются противоаварийные тренировки, а в более общем виде - деловые игры, составляющие суть активных методов обучения [Л 6].

Деловые игры – это метод моделирования ситуации для выработки коллективного решения во времени и с обратной связью. Этот метод применяется в учебном процессе для имитации реального управления. При этом управление происходит в условиях неопределенности, конфликтности и вероятностного поведения управляемого объекта и его внешней среды. Роль модели энергосистем выполняют специализированные программы ЭВМ.

Основной целью деловых игр является создание у оперативного персонала модели оперативного управления, но, по-видимому, еще более важной целью учебных деловых игр является выработка у оперативного персонала умений создавать модель управления при решении реальных задач управления энергосистемой. Это реально и происходит, модель оперативного управления постоянно развивается, но при этом в явном виде цели ее развития не ставятся, и она развивается без надлежащего системного анализа, случайным образом, без глубоких обобщений с разной степенью эффективности, зависящей от характера мышления конкретного человека.

Опыт обучения с помощью деловых игр показывает, что лучше не концентрировать внимание на проверке готовности персонала управлять в той или иной ситуации (таких ситуаций слишком много), а большее внимание направлять на отработку у персонала умений анализировать свои действия, делать выводы с целью постоянного непрерывного совершенствования своих знаний, умений и навыков в процессе реального управления.

Таким образом, можно в какой-то мере добиваться непрерывности построения модели оперативного управления.

Одной из важнейших характеристик деловой игры является ее двуплановость, которая проявляется в двух типах деятельности: игровой

и по поводу игры. Деятельность по поводу деловой игры осуществляется до игры (анализ изучаемой в деловой игре проблемы) и анализ управления после игры. Деятельность по поводу игры с точки зрения создания или совершенствования модели управления является важнейшей. Игровая же деятельность служит поводом для анализа и конкретной базой деятельности по поводу игры.

В общем, деловые игры используются не только для целей обучения. Как говорилось выше, это и средство для контроля умений и навыков управлять, особенно во взаимодействии с другим персоналом, т.е. коллективного решения задач управления. Их можно использовать для совершенствования объекта управления (энергосистемы), как метод выявления его "узких мест".

Этим методом можно выявлять и "узкие места" в системе управления, а также ожидать результаты тех или иных путей развития энергосистемы и системы ее управления. То есть, проводить экспертизы проектов, планов развития, планов НИОКР.

Деловые игры – это механизм создания коллективной модели управления. При коллективном управлении возникает разное видение сложившейся ситуации у лиц принимающих решения, у каждого из них свои представления, свои предпочтения, свои критерии, т.е. свои модели управления, но ключей для согласованного решения возникающих проблем нет у каждого в отдельности.

Таким образом, создается коллективная модель, в которой каждому участнику отведена своя роль в решении общей задачи.

В деловой игре возникает возможность использовать эффект обучения в действии, понять и почувствовать скрытые связи и зависимости изучаемых явлений, просмотреть на конкретной модели процессы взаимодействия или рассогласования различных элементов и звеньев в изучаемой системе, ее поведение под воздействием внутренних и внешних возмущающих факторов.

Таким образом, в деловой игре реализуется системный подход к процессу обучения, она позволяет объединить все знания, умения и навыки, решать проблему управления и комплексно строить как индивидуальные, так и коллективные модели оперативного управления.

## Модель деловой игры

Структура деловой игры включает в себя технологическую модель объекта управления, модель системы управления, модель внешней среды, комплекс программ деловых игр, систему анализа и оценки деятельности участников деловых игр (рис. 19).

Создание деловых игр – трудоемкий, постоянно совершенствующийся процесс, так как непрерывно меняются характеристики и свойства объекта управления, развивается и совершенствуется система управления, изменяется внешняя среда.

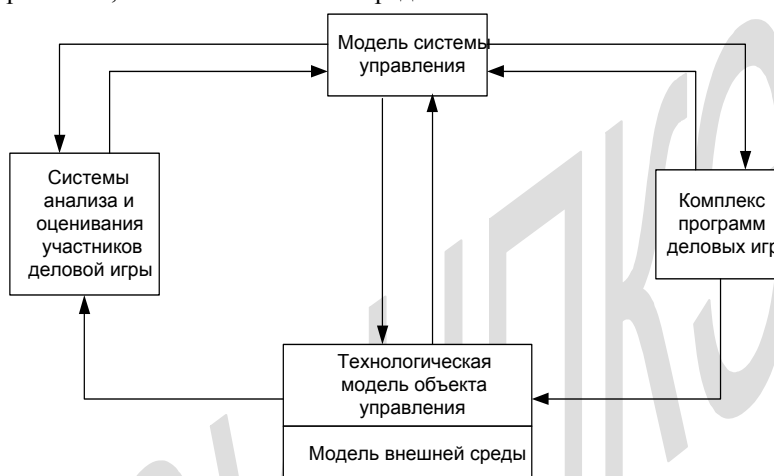


Рис. 19. Модель деловой игры

Наиболее принципиальным вопросом конструирования деловой игры является создание комплекса программ, который вырабатывает у оперативного персонала необходимую модель управления в процессе трудовой деятельности.

Структура системы программ деловых игр должна соответствовать структуре модели управления и отражать целостно технологию управления энергетическими объектами.

В комплекс деловых игр должны входить программы для отработки модели по каждому данному рабочему месту. Так, комплекс программ должен отражать следующие ситуации оперативного управления:

1. Нормальные.
2. Аварийные.
3. Ремонтные.
4. Цикла управления.
5. Коллективного управления (взаимодействие).

Нормальные, аварийные и ремонтные ситуации зависят от каждого рабочего места, так как содержат разные модели технологии конкретного объекта управления.

Ситуации цикла управления и коллективного принятия решений более общие, поэтому кратко раскроем их содержание.

#### **А. Ситуации цикла управления**

1. Распознавание и анализ ситуаций.
2. Оценка ситуаций и их ранжирование.
3. Поиск альтернативных решений.
4. Выработка стратегии и тактики плана действий.
5. Реализация решений.
6. Действия при жестком лимите времени.
7. Действия при неполной и частично недостоверной информации.

#### **В. Ситуации коллективного принятия решения и взаимодействие персонала**

1. Взаимодействие внутри смены.
2. Взаимодействие с другими уровнями оперативного персонала.
3. Взаимодействие с другими категориями персонала.
4. Коллективное принятие и реализация решений.
5. Оперативный язык и отдача распоряжений.

Основным элементом системы программ деловых игр является программа, которая имеет следующую структуру.

## **1. Организация деловой игры**

- 1.1. Цели.
- 1.2. Правила игры.
- 1.3. Средства, используемые для проведения игры.
- 1.4. Состав участников (роли).
- 1.5. Документация, которую ведут участники игры.
- 1.6. Привязка к системе оценок, экспертные оценки и протокол оценки участников игры.
- 1.7. Рекомендуемые для изучения теоретические и директивные материалы, правила, инструкции.
- 1.8. Рекомендации по анализу деловой игры.

## **2. Состояние объекта управления.**

- 2.1. Исходное состояние объекта и системы управления и их внешней среды.
- 2.2. Проблемное состояние.
  - 2.2.1. Описание проблемной ситуации.
  - 2.2.2. Информация о проблемном состоянии на рабочем месте каждого уровня управления.
  - 2.2.3. Информация, сообщаемая в соответствии с взаимоотношениями персонала.
  - 2.2.4. Подсказка решений разных уровней и категорий персонала.

## **3. Рекомендуемые и возможные варианты решений, разработанные при подготовке программы**

- 3.1. Рекомендации по распознаванию проблемной ситуации.
- 3.2. Рекомендации по анализу ситуации и постановке задачи.
- 3.3. Оценка ситуации и возможные стратегии и тактики управления.

Следует также отметить, что деловые игры по тематике, отличной от аварийных ситуаций в энергетике, проводятся редко.

3.4. Рекомендованные действия в стандартных и нестандартных ситуациях деловой игры.

3.5. Рекомендованное взаимодействие оперативного персонала между собой и другими категориями персонала.

### **Правила проведения деловых игр**

Обычно правила проведения деловой игры не отличаются от типовых правил проведения противоаварийных тренировок персонала электрических станций и сетей, но в зависимости от вида игры и ее организации правила могут отличаться, тогда эти особенности должны быть описаны в программе игры. Например, в отличие от типовых правил, где говорится, что исходная ситуация дается в виде «вводной», это правило можно изменить, и исходную ситуацию дать играющим по правилам сдачи и приемки смены, в которой информация может быть не полной и частично недостоверной. После сдачи смены, принимающие смену игроки могут задавать вопросы с целью получения дополнительной информации или уточнить полученную. Сдачу смены осуществляет посредник. Такое изменение в правилах необходимо, если в деловой игре ставится цель отработать как стандартную ситуацию сдачу и приемку смены. Так же, если необходимо отработать умение вести записи в оперативном журнале или других оперативных документах, то это тоже включается в программу деловой игры, как дополнение к правилам.

### **Документация деловых игр**

В программе должны быть даны разработки документов, которые необходимо вести во время игры оперативному персоналу, посреднику, руководителям деловой игры, если это требуется по условиям игры.

### **Привязка к системе оценок деловых игр**

Система оценок участников деловых игр содержит перечень оцениваемых действий и их количественные показатели, например, в баллах, начисляемых или снимаемых за каждый этап игры, за стандартные и нестандартные действия персонала и т.д. Но эта система должна привязываться к конкретной игре разработчиком программы, когда рекомендуемые действия заданы. Обычно оцениваются ошибочные действия, необходимые решения, неполнота решений, различные стратегии управления и т.д.

### **Цели деловых игр в конкретных программах**

Прежде всего, у диспетчерского персонала следует отработать оптимальные действия в ситуациях, наиболее часто встречающихся в оперативном управлении:

1. Сдача и приемка смены.
2. Вывод оборудования в ремонт.
3. Контроль и управление нормальными режимами.
4. Ведение диспетчерской документации.
5. Взаимодействие с различными уровнями персонала в нормальных и аварийных ситуациях.
6. Самостоятельные действия в различных ситуациях.
7. Действия при отсутствии или плохой связи.
8. Действия при ограниченном лимите времени.
9. Действия при частично недостоверной информации.
10. Действия при неполной информации.
11. Действия в часто встречающихся стандартных ситуациях.

Например, операции по производству переключений на разного вида оборудовании, опробование отключившегося оборудования, операции с разъединителями и т.п.

12. Отработка стратегии и тактики действий.
13. Реализация принятых решений.

14. Ликвидация наиболее часто встречающихся аварийных режимов.

Исходя из этих проблемных ситуаций и целей управления в них, разрабатывается первая часть конкретных программ.

Следующие программы разрабатываются для обучения диспетчерского персонала решению задач, которые встречаются реже, но очень ответственны с точки зрения их последствий. Например, ситуации, связанные с нарушением устойчивости энергосистем, пожарами, гололедом, другими стихийными явлениями, приводящими к большим погашениям потребителей и повреждению оборудования энергосистемы.

### **Система анализа деловой игры**

Анализ деловой игры – это действия «по поводу» деловой игры. Эта система очень важна в деловой игре.

Во-первых, наличием этой системы деловая игра отличается от реального поведения в производственной практике.

Во-вторых, в ней в явном виде идет построение модели управления у оперативного персонала, т.е. реализуются цели деловой игры.

Именно наличием этой системы деловая игра в полной мере оправдывает свое назначение, так как, конечно, деловая игра не может конкурировать с реальной практикой по другим своим элементам структуры. Действительно, в деловой игре объект игрового моделирования существенно упрощен по сравнению с реальным объектом. В нем могут быть не отражены иногда даже существенные взаимосвязи. Структура системы управления проще и несколько условна. Система оценивания и мотивации так же не в полном объеме соответствует реальной. Стохастические процессы, происходящие с объектом управления и в системе управления, заменены целевой программой и ведущим деловую игру посредником.

Однако самое главное - это различие целей реального управления и деловой игры. Деловая игра важнее, прежде всего с точки зрения построения модели управления. Цели реального управления – решение конкретных проблем, возникающих в ходе функционирования объекта

управления, а цели игры - это открытие для всех участников, включая ведущих игру преподавателей и ее разработчиков, новых закономерностей функционирования объекта управления и системы управления, познание новых методов управления, развитие и совершенствование своих способностей и умений. В реальном управлении эти цели не выражены в явном виде и, соответственно, достигаются малоэффективными способами. Поэтому одна из главных целей деловых игр – научить оперативный персонал так строить свой алгоритм управления, чтобы в самом процессе управления в явном виде присутствовал этап совершенствования своей модели, таким образом создается механизм непрерывного совершенствования модели управления. Анализ деловой игры и реальных действий в практике управления должен осуществляться по определенному алгоритму. Он может быть довольно различным в зависимости от целей, времени, отведенному на анализ, от индивидуальных особенностей участника и т.п.

В общем виде можно предложить следующий алгоритм анализа действий персонала.

1. Распознавание ситуации, сбора информации о состоянии объекта управления.
2. Определение проблемности ситуации и постановка задач.
3. Оценка и ранжирование проблемы и задач, которые надо решать в определенной последовательности.
4. Поиск решения, выделение стратегии и тактики решения.
5. Применение стандартных ситуаций в принятых решениях, выполнение ПТЭ, производственных инструкций и других директивных материалов.
6. Взаимодействие и методы принятия коллективных решений.
7. Правильность ведения режима (выполнение условий сохранения статической и динамической устойчивости, предельная загрузка оборудования, контроль уровней напряжения и т.д.).
8. Правильность производимых переключений.
9. Выполнение ПТБ.
10. Действия в жестком лимите времени.

11. Оперативный язык, выполнения правил отдачи распоряжений и сообщений.
12. Ведение оперативных записей.
13. Основные ошибки и оригинальные действия.

На анализ по этому алгоритму требуется много времени, в связи с чем его можно сокращать, выделяя только те этапы алгоритма, которые ставились, как главные цели деловой игры.

Методика деловой игры требует отдельного рассмотрения.

### **Анализ конкретных производственных ситуаций**

Ставя перед собой в качестве одной из главных целей совершенствования умений и навыков диспетчерского персонала в принятии решений, следует обратить внимание на анализ конкретных производственных ситуаций.

В традиционной учебной задаче известно что дано и что необходимо найти. В описании конкретной ситуации нет ни того, ни другого, как это и бывает в реальной жизни. Реально всегда надо разобраться в ситуации, определить, есть ли проблемы и задачи, которые необходимо решать. Эта часть цикла управления определяет постановку задачи и является важнейшим моментом оперативного управления.

Традиционная учебная задача имеет только одно правильное решение, реальные конкретные ситуации имеют обычно несколько вариантов решений в разной или равной степени близкие к оптимальному, а лучше сказать хорошему, так как критерии оптимальности часто нечеткие и имеют качественный, а не количественный характер. Также следует учитывать жесткий лимит времени на решение реальной задачи. Поэтому на данном качестве конкретной ситуационной производственной задачи, анализе различных вариантов ее решений, которые можно сравнивать по разным оценочным критериям и обсуждать на групповых занятиях или со специалистами предприятия, строится ее основной обучающий фактор.

Ситуационная задача решается двумя способами: она либо преобразуется так, чтобы применить стандартный алгоритм решения (ме-

тод стандартных ситуаций), либо обучаемый сам разрабатывает новый алгоритм ее решения. Разработка нового алгоритма развивает у обучаемых творческий подход в решении задач оперативного управления, а сама задача становится для обучаемого стандартной.

Ценность анализа конкретных ситуаций состоит в том, что включает в себя полный цикл управления, а именно:

1. Получение информации о ситуации, начиная с приемки смены и отслеживание ситуации в течение смены.
2. Выявление проблем и причин их возникновения.
3. Анализ проблем и постановка задач.
4. Ранжирование (оценка степени важности) проблем и оценка времени, необходимого на их решение.
5. Поиск решений и принятие решений.
6. Составление плана действий (стратегия и тактика)
7. Определение необходимых операций и последовательности их выполнения (алгоритмы решения).
8. Отдача, выполнение и контроль распоряжений.
9. Оценка достижения цели.

Этот цикл анализируется при условиях жесткого лимита времени и необходимости принятия решений при неполной информации. Вопросы обучаемым формулируются примерно так: «Что делать? Какие пути решения Вы видите?» Вопросы могут не формулироваться, а описываться ситуацией с заданием проанализировать и принять решение. Обучающиеся анализируют ситуацию самостоятельно, пытаются выявить проблемы и привлечь необходимую информацию, которую они могут получить у специалиста, преподавателя. Затем в группах по несколько человек у тренирующихся вырабатывают одно или несколько вариантов решений, после чего все варианты решений и действий в этой ситуации выносятся на общегрупповую дискуссию. Задача каждого участника во время обсуждения доказать обоснованность своего варианта или отказаться от него и оценить варианты решений предлагаемых другими.

Таким образом, слушатели вырабатывают совместно с преподавателем, а иногда и с привлечением руководства и специалистов-технологов, коллективное решение или принимают два, три равноценных варианта.

После окончания дискуссии обучаемых знакомят с принятым вариантом ликвидации аварии, однако, оно не должно восприниматься как единственно правильное, так как ситуация может содержать нюансы как режима, схемы, так и методов управления.

Участие в дискуссии тренирующихся, которые уже решали подобные проблемы, превращает эту часть занятий в активный обмен опытом.

Анализируя производственные ситуации и возникающие проблемы, обучаемые не только узнают, как решаются подобные задачи, но сами осваивают в процессе решения методы анализа ситуаций и совершенствуют свои умения оперативного управления, при этом формируются навыки работы с информацией, умение обосновывать принятое решение, способность практического сотрудничества, коллективного принятия решения и использования знаний и опыта специалистов смежных областей и ряд других качеств.

### **Разработка стандартных ситуаций**

Стандартные ситуации разрабатываются на основе конкретных ситуаций. Под стандартной понимается ситуация оперативного управления энергосистемой, которая имеет заранее разработанный алгоритм или правила выработки решения и реализации этого решения.

Примерами документов, описывающих стандартные ситуации, являются инструкции по ликвидации аварий, где в основном даются алгоритмы и правила выработки решений в аварийных ситуациях, а также инструкция по производству переключений, где даются правила по реализации принятых решений.

Анализ конкретных оперативных ситуаций дает возможность разрабатывать правила оперативного управления, развивающие типовые директивные материалы, конкретизируя их для местных условий.

Примером разработки такого оперативного документа могут служить оперативные указания системы Ленэнерго по линиям, находящимся в управлении диспетчера ЦДС.

К стандартным ситуациям можно отнести всю оперативную документацию диспетчера, поэтому этот метод работы с персоналом обычно представляется как разработка оперативной документации или инструкций.

Метод стандартных ситуаций принципиален для оперативного управления, так как оперативное управление, как правило, использует стандартные, нормативные решения, что позволяет действовать в жестком лимите времени с минимальным риском, продуманным заранее способом. Поэтому этот метод активного обучения необходимо проводить очень тщательно и широко использовать в оперативном управлении, как один из основных.

И как вывод следует отметить, что применение активных методов не самоцель, а средство достижения цели формирования активных, творческих знаний. Подбором приведенных выше методов обучения можно решать ту или иную задачу непрерывного совершенствования модели управления у оперативного персонала. Правильный подбор метода и времени его применения по ходу реализации учебных задач позволяет достичь совокупного обучающего эффекта.

Анализ конкретной аварийной ситуации, имевшей место на Вашем рабочем месте.

## **1. Исходная ситуация**

- 1.1. Режим энергосистемы, связи с другими энергосистемами.
- 1.2. Замечания по режиму работы оборудования электростанций.
- 1.3. Замечания по оборудованию электрических сетей и подстанций.
- 1.4. Отклонения в схеме. Узкие места схемы.
- 1.5. Рабочие места, где ведутся работы. Замечания по ТБ.
- 1.6. Отклонения по защитах и автоматике.
- 1.7. Погашенные потребители, жалобы потребителей.
- 1.8. Замечания по связи.
- 1.9. Замечания по телемеханике.
- 1.10. Замечания по метеоусловиям.
- 1.11. Местонахождение ОВБ, состояние транспорта ОВБ.
- 1.12. Замечания по персоналу.

1.13. Указания руководства.

## 2. Аварийная ситуация

- 2.1. Отключившееся оборудование, возможные причины отключения, его состояние.
- 2.2. Работа защиты и автоматики.
- 2.3. Описание аварийного режима.

## 3. Анализ

- 3.1. Анализ возможных вариантов ликвидации аварии.
- 3.2. Вариант ликвидации аварии.
  - 3.2.1. Анализ распознавания ситуации.
  - 3.2.2. Возникшие проблемы и пути их решения.
  - 3.2.3. Задачи.
  - 3.2.4. Ранжирование задач.
  - 3.2.5. Анализ стратегии ликвидации аварии.
  - 3.2.6. Алгоритмы реализации этой стратегии (стандартные решения).
  - 3.2.7. Взаимодействие персонала.
  - 3.2.8. Вопросы ПТБ и ПТЭ.
  - 3.2.9. Производство переключений.
  - 3.2.10. Отказы защиты, автоматики и СДТУ.
  - 3.2.11. Записи.
  - 3.2.12. Ведение оперативных переговоров, отдача распоряжений.
  - 3.2.13. Выводы и оценка действий персонала.

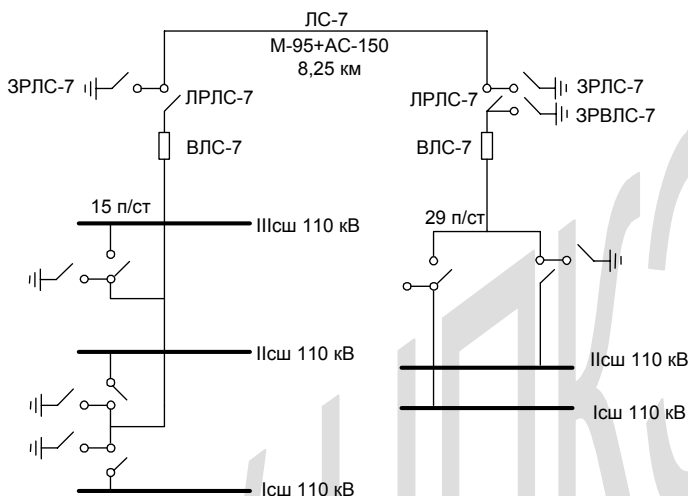
УТВЕРЖДАЮ

Зам. главного инженера Ленэнерго

Г.В.Меркурьев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1977г.

### Оперативные указания по эксплуатации ЛЭП 110 кВ ЛС-7



#### 1. Оперативные указания

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Оперативная подчиненность     | - линия находится в оперативном управлении ДЛЭ   |
| 2. Допустимая нагрузка           | - +25 <sup>0</sup> С                    414 а<br>0 <sup>0</sup> С                        510 а |
| 3. Аварийная нагрузка            | - +25 <sup>0</sup> С                    450 а<br>0 <sup>0</sup> С                        550 а |
| 4. Отключение ЛЭП                | - со стороны 29 п/ст. или 15 п/ст.   |
| 5. Выключение ЛЭП                | - со стороны 15 п/ст. или 29 п/ст.   |
| 6. Каналы связи и телемеханики   | - фаза «А» ПС ЛЭ – Северная ТЭЦ, связь и ТС 15 п/ст. – Парнас                                  |
| 7. Эксплуатационное обслуживание | - П ВВР ЛВС  |

## 2. Указания по РЗА

<p>1. Нормальный режим</p>	<p>15 п/ст.</p> <p>ДЗЛ ДЗ (КРС-131) I 3.44 Ом/ф 0с II 12 Ом/ф 1,2с 0,25с при <math>I_1 &lt; I</math> I &gt; 6000А - выведена 3I<sub>0</sub> I 5100А 0с 8400А 0с II 2500А 1,3с III 900А 3с</p> <p>IV 400А 6с АПВ 3,6с КС, <math>I_L &lt;</math> <math>I_{III} &lt;</math> - выведено</p>	<p>29 п/ст.</p> <p>ДЗЛ М.ф.о. - выведена ДЗ (КРС-131)</p> <p>I 3,44 Ом/ф 0с II 12 Ом/ф 1,2с 3I<sub>0</sub> I 5100А 0с II 2750А 1,5с III 1400А 2с 0,5с - выведено дено IV 500А 4,6с З.н.ф. КС, <math>I_{III} &lt;</math> <math>I_L &lt;</math> - выведено</p>
<p>2. Выведение ДЗЛ</p>	<p>ДЗ-II ввести 0,25с при <math>I_1</math> и I &gt; 6000</p>	<p>3I<sub>0</sub> – III ввести 0,5с</p>
<p>3. ЛС-7 отключена</p>		<p>ЛМРН-3 в АПВ ввести <math>I_{III} &lt;</math></p>

Начальник ЦСРЗАИ  
Начальник СЭР Ленэнерго  
Начальник ЦДС Ленэнерго

В.Ф.Александров  
В.И.Несмеян  
А.И.Казачков

## 8.2. Методические указания по проведению противоаварийных тренировок оперативного персонала энергосистем

1. Проведенные Всероссийские соревнования диспетчеров энергосистем в 1991, 1998, 2001 гг. под руководством Департамента Государственной инспекции по эксплуатации электростанций и сетей и ЦДУ "ЕЭС России" выявили следующие основные недостатки в подготовке диспетчеров энергосистем, наиболее серьезными из которых являются следующие:

1.1. Недостаточное внимание к изучению типовых инструкций по производству переключения, в результате чего допускаются многочисленные отступления от них в ходе решения конкретных оперативных задач: объединение в одной команде нескольких операций, ошибки в операциях с устройствами РЗА, несерьезное отношение к проверочным операциям, пренебрежение проверкой состояния оборудования на месте и т.п.

1.2. Недостаточно отработанный оперативный язык, нечеткая отдача команд, неправильное употребление оперативных терминов.

1.3. Слабые навыки проведения анализа ситуации, неумение использовать методику системного анализа при поиске оперативного решения, в результате чего имеет место излишняя поспешность в действиях без должного сопоставления альтернативных вариантов.

1.4. Неумение действовать при разделении энергосистемы или объединении энергосистем на несинхронно работающие части: включение на несинхронное напряжение, отсутствие навыков определения баланса мощности, несвоевременное назначение станций, регулирующих частоту.

1.5. Неполнота сбора информации в сложных ситуациях, отсутствие должного контроля достоверности и полноты полученной информации, неумение вести целенаправленный сбор информации.

1.6. Недостаточное изучение стандартных ситуаций: ограниченность набора отработанных ситуаций, слабые навыки привязки стандартных ситуаций к конкретным условиям, недостаточность отработки типовых вариантов решения стандартных ситуаций.

1.7. Слабые навыки построения оперативных взаимоотношений, в частности – в аварийной ситуации; неумение организовывать взаимодействие в смене, с подчиненными и вышестоящими оперативными работниками, с неоперативным персоналом (руководящий персонал, специалисты, инспекция).

1.8. Как показали проведенные Всероссийские соревнования диспетчеров энергосистем, а также опыт повышения квалификации диспетчеров энергосистем, важнейшим обстоятельством, приводящим к появлению перечисленных выше ошибок, является недостаточная работа с диспетчерским персоналом, и, прежде всего, по привитию навыков системного анализа и оперативного мышления.

2. Обоснование необходимости совершенствования методики подготовки, проведения и анализа противоаварийной тренировки [7].

2.1. Правила проведения противоаварийных тренировок [8] определяют противоаварийную тренировку (ПАТ) как одну из обязательных форм производственно-технического обучения и повышения квалификации диспетчерского персонала.

2.2. ПАТ позволяет проверить способность диспетчера самостоятельно или на основе коллективных действий персонала смены предупредить или локализовать аварии, управлять своим объектом (энергосистема, электросеть, электростанция) в сложных ситуациях. Важнейшее качество ПАТ - возможность использовать ее не только для обучения, но и для контроля квалификации работника, а также для выявления узких (слабых) мест в объекте управления с выработкой соответствующих организационных и технических мероприятий по их устранению.

2.3. ПАТ как форма активного обучения удачно сочетает сильные стороны методов проблемного обучения с игровыми методами квалификационной (специальной) подготовки. Как любая форма проблемного обучения, ПАТ (точнее - ситуация, в которую попадает тренирующийся) вынуждает участника тренировки активно искать недостающую информацию, стимулирует использование им ранее полученных знаний и навыков (зачастую в непривычных областях деятельности), понуждает целеустремленно формировать такие психические образующие оперативной деятельности, как наблюдение, диагностика,

формулирование и прогнозирование развития проблемы, выработка решения. Вынужденный экстремальностью самой ситуации тренировки, тренирующийся усиленно ставит перед собой все новые вопросы и быстрыми темпами осознает и усваивает новое. Как любая игра, ПАТ представляет собой процесс выработки и реализации решений в условиях поэтапного, многошагового развития ситуации, складывающихся в цепочку взаимосвязанных, влияющих друг на друга событий. Такая динамичная обстановка, сочетающаяся с возникающим в сознании стереотипом высокой степени ответственности за состояние объекта управления (энергосистемы, энергообъекта) и за свои действия в ходе игры, также вынуждает тренирующегося мобилизовать свои знания и имеющийся опыт в целях успешного решения поставленной задачи в минимальное время.

2.4. Возможными направлениями совершенствования, подготовки, проведения и анализа ПАТ может оказаться использование методологии системного анализа, а также приемов логических рассуждений и методов современной когнитивной психологии.

2.5. Актуальность использования системного анализа в ПАТ обусловлена тем, что оперативное управление имеет дело с объектом, представляющим собой сложную человеко-машинную систему (по обычно принятой классификации объектов управления - очень сложная, или большая система), состоящую из большого числа частей, но вместе с тем являющуюся интегрированным целым, управление которым преследует цель достижения максимальной эффективности системы как некоторого единства при гармоничном сочетании противоречивых целей ее составных частей. Одна из существенных особенностей больших частей - их вероятностный характер, проявляющийся в том, что реальное состояние некоторых частей системы всегда, а системы в целом в отдельные моменты времени, точно не известно и не может быть уверенно предсказано. Дело в том, что оперативное управление осуществляется в условиях неопределенности (неполнота и частичная достоверность информации), при наличии чрезвычайно разветвленных и потому частично ненаблюдаемых взаимосвязях объекта управления с окружающей средой, а его частей (составляющих) - между собой, при обычно очевидной многовариантности развития ситуации и, соответст-

венно, возможных решений субъекта управления, а также при дефиците времени на выработку и реализацию решения. Именно в этих условиях эффективен системный анализ, как совокупность методических средств и процедур, используемых для подготовки, обоснования и осуществления решений сложных проблем, позволяющих к тому же целенаправленно выдвигать и обоснованно сопоставлять варианты этих решений.

## 2.6. Важнейшие принципы системного анализа :

2.6.1. Объект управления ( ситуация ) рассматривается как некоторое целое, являющееся частью большей общности и, соответственно, должен быть выделен из нее с учетом имеющихся связей.

2.6.2. Объект управления (ситуация) вместе с тем состоит из большого количества взаимосвязанных частей, в связи с чем следует учитывать характер и роль этих связей.

2.6.3. Процесс принятия решений должен начинаться с выявления и четкого формулирования конечных целей и критериев, по которым может оцениваться достижение этих целей - как для системы в целом, так и для ее составляющих частей, то есть как п.2.6.1, так и п.2.6.2.

2.6.4. Должно быть выявлено и проанализировано наибольшее число альтернативных путей достижения целей.

2.5.5. Цели отдельных составных частей объекта управления системы не должна вступать в конфликт с целями всей системы, как единого целого.

2.7. Говоря о системном анализе, отметим, что понятие «системный» применяется потому, что исследование строится на категории «система», которая в общем случае определяется как совокупность элементов (объектов, субъектов), находящихся между собой в определенной зависимости и составляющих некоторое единство (целостность), направленное на достижение определенной цели Система может являться элементом другой системы более высокого порядка и включать в себя системы более низкого порядка (подсистемы); при этом понятия «система», «подсистема», «элемент» взаимопреобразуемы.

Система может рассматриваться как элемент системы более высокого порядка, а элемент при углубленном анализе - как система. Термин «анализ» характеризует процедуру исследования, которая состоит в разделении сложной проблемы на отдельные, более простые проблемы

с последующим исследованием и решением именно этих частных проблем соответствующими более простыми и эффективными методами с переходом в заключение к синтезу общего решения исходной сложной проблемы. Центральной процедурой в системном анализе является построение обобщенной модели, отображающей все те факторы и связи реального объекта (ситуации), которые могут появиться в процессе реализации искомого решения, с исследованием этих факторов и связей при учете возможного развития ситуации.

Понятие «связь» входит в любое определение системы и характеризует ее строение (статiku) и функционирование (динамику). Направление и характер связей определяют структуру и функционирование системы.

2.8. Использование в системном анализе обобщенной (и в известной степени упрощенной) модели вместо реального объекта, ситуации, позволяет упростить изучаемое явление, уменьшить число подлежащих рассмотрению и изучению элементов и связей, тем самым сделать более наглядными сохраняемые в модели элементы и связи; последнее ускоряет и упрощает процесс анализа рассматриваемого явления. Моделирование, понимаемое как упрощение реальной ситуации, практически неизбежно при оперативном управлении в электроэнергетике, имеющей дело, как отмечалось, с очень сложными (большими) системами как объектами управления. Ключевая проблема моделирования - обеспечение необходимого уровня адекватности модели и реального явления, крайне важно, отбрасывая «лишние» связи и элементы, сохранить существенные.

### 3. Цели противоаварийных тренировок.

3.1. Цели противоаварийной тренировки являются определяющим моментом для разработки ее программы. Именно исходя из поставленной цели, должны выбираться вид тренировки, методика ее проведения, тема и т.д. Последующий анализ проведенной тренировки также должен быть подчинен выработке ответов на вопросы первоначально сформулированной цели этой тренировки.

3.2. Наилучшим способом представления многообразия возможных целей противоаварийных тренировок является построение дерева целей, отображающего сложную иерархическую структуру этих

целей в их взаимосвязи и взаимозависимости. Ряд целей может быть дополнительно детализован, иначе говоря - расчленен на совокупность более конкретных целей. Каждая тренировка может ориентироваться на достижение не только одной какой-либо цели, но и нескольких целей одновременно.

3.3. В общем случае противоаварийную тренировку допустимо рассматривать как одну из разновидностей деловой игры. Как и деловая игра, она представляет собой процесс выработки и реализации решений в условиях поэтапного многошагового получения и анализа информации, отображающей динамику ситуации, изменяющейся на отдельных шагах в ходе игры. Как любая деловая игра, противоаварийная тренировка представляет собой цепочку взаимосвязанных, влияющих друг на друга производственных ситуаций, конкретизированных применительно к оперативной деятельности в условиях реальной энергосистемы (электростанции, электросети).

3.4. При построении дерева целей может ставиться задача как работы с оперативным персоналом (что соответствует учебной деловой игре), так и выявления узких мест в энергосистеме с разработкой предложений по их устранению (производственная деловая игра).

3.5. Работа с оперативным персоналом соответствует целям, во-первых, обучения, а во-вторых, контроля квалификации.

Наряду с указанными целями в анализе ПАТ рассматриваются также и вопросы качества методики проведения тренировки, разработки мероприятий по совершенствованию этой методики, совершенствование технической оснащенности тренировки. Однако могут оказаться полезными и противоаварийные тренировки, ориентированные на такую цель, как отработка и совершенствование самой методики их проведения.

3.6. В свою очередь, обучение может преследовать либо цель первоначальной подготовки нового специалиста, либо дальнейшего совершенствования знаний, умения и навыков оперативного работника.

3.7. Тренировки, ориентированные на главную цель, на первоначальную подготовку нового диспетчера, могут преследовать такие локальные цели, как выявление уровня подготовки работника, овладение навыками действий в стандартных ситуациях, изучение конкретных

особенностей управления объектом (энергосистема, энергопредприятие, подразделение энергопредприятия и т.д.) и системы управления объектом.

3.7.1. Тренировку с целью выявления особенностей характера (в первую очередь, психофизических) и уровня подготовки работника, целесообразно проводить на ранних стадиях обучения - с тем, чтобы саму программу обучения конкретизировать с учетом этих особенностей. При тренировке, преследующие подобные цели ознакомления с личностью обучаемого важно поставить условия, когда, в частности, будут проведены такие определяющие с точки зрения оперативной деятельности психофизические характеристики, как эмоциональная устойчивость, способность быстро и адекватно реагировать на изменение ситуации и т.п.

3.7.2. Цель, заключающаяся в том, чтобы обучаемому овладеть навыками действий в стандартных ситуациях, очевидно, может быть достигнута только в случае, если испытуемый столкнется с достаточно полным набором таких ситуаций. При этом следует учесть, что как показывает практика, не следует чрезмерно усложнять тренировку, используя многочисленные наложения случайностей ради охвата одной тренировкой большого числа стандартных ситуаций. Рекомендацию избегать подобного условия тренировок содержит и п. 4.4 [8]. Поэтому обучаемому необходимо предложить серию тренировок на овладение навыками действий в стандартных ситуациях, причем каждая из подобных тренировок основывается не более, чем на двух - трех ситуациях, в преломлении применительно к конкретным особенностям изучаемого объекта управления. Для достижения цели изучения объекта и системы управления обучаемому также должна быть предложена серия тренировок, в комплексе охватывающая все разделы программы этого изучения.

3.8. Тренировки, направленные на совершенствование знаний, умения и навыков работника - это тренировки, относимые по классификации п. 2.6 [8] к плановым, проводимым с каждым работником. Эта группа целей включает также две локальные цели: отработку конкретных вопросов и поддержание готовности к действиям в сложных ситуациях. Первая локальная цель связана с необходимостью углубленного изучения обучаемым отдельных вопросов, возникающих в связи с

выявившимися узкими местами в работе рассматриваемого объекта или в действиях оперативного персонала. Обычно темы подобных тренировок выбираются по результатам расследования аварий или допущенных оперативных ошибок на этом или на аналогичном объекте. Что касается второй из названных выше локальных целей, то есть поддержания готовности к действиям в сложных ситуациях, то необходимость в подобных периодических тренировках определяется такой особенностью эксплуатации энергосистем, как относительно редкое проявление подобных ситуаций, требующих в тоже время весьма сложных и четких решений. Ситуация определяется тем, что от оперативного персонала требуется переключиться на поиск этих решений внезапно, после длительного периода спокойной работы. Долго не сталкиваясь со сложными ситуациями, персонал частично утрачивает навыки их локализации, проигрывание подобных ситуаций в ходе тренировок способствует поддержанию необходимой готовности персонала к экстренным действиям.

3.9. Цель контроля квалификации специалиста имеет в виду проверку уровня его знаний и навыков и включает три локальные цели.

3.9.1. Первая из этих целей - определение возможности допуска к самостоятельной работе; подобная тренировка проводится либо по итогам обучения со специалистом, впервые приступающего к работе по данной должности, либо с опытным работником, после длительного перерыва в работе. Имеется ввиду, что тренировки с целью проверки усвоения знаний и навыков на отдельных этапах обучения относятся к тренировкам с целевой установкой обучения нового специалиста, о которых говорилось ранее.

3.9.2. Вторая локальная цель этой группы вопросов - проверка и поддержание уровня знаний и навыков, что достигается периодически тренировками, ориентированными на освежение знаний и навыков, ранее приобретенных диспетчером, но, может быть, им забытых, а также углубленная проработка отдельных ситуаций. В какой-то мере эта цель перекликается с предыдущей, однако надо иметь в виду, что тренировки, преследующие эти цели, ориентированны не на сложные ситуации, а на более часто встречающиеся варианты стандартных ситуаций.

3.9.3. Третья локальная цель этой группы задач - проверка причин допущенных ошибок. Речь идет о тренировках, относимых по классификации [8] к внеочередным, назначаемым, как правило, по результатам конкретной оперативной ошибки, допущенной этим диспетчером или одним из его коллег. Основная задача подобной тренировки заключается в следующем: поставив тренирующегося в условия, аналогичные тем, при которых была допущена ошибка или нечеткость в действиях, уточнить, не повторится ли вновь подобная ошибка и, вместе с тем, выявить, какие конкретные причины и обстоятельства провоцируют эту ошибку. В отличие от тренировок, также назначаемых по результатам нарушений в работе и названных выше при рассмотрении целей совершенствования знаний навыков, в данном случае преследуется в первую очередь задача контроля квалификации, то есть выявления недостатков данного диспетчера.

3.10. Вторая большая группа целей противоаварийных тренировок состоит и выявлении узких мест с последующей разработкой мероприятий по их устранению. Эта группа целей ориентированна не на совершенствование знаний и навыков субъекта оперативного управления - диспетчера, а на совершенствование самого объекта управления и системы управления этим объектом.

3.10.1. В конечном счете многообразие целей, включаемых в эту группу, должно охватывать все обстоятельства явления, конкретные особенности рассматриваемого объекта и его системы управления, создающие или могущие создать, при определенных обстоятельствах, затруднения в его функционировании, снижающие надежность, экономичность и другие его качества, осложняющие оперативное или административно – хозяйственное управление. Иначе говоря, объем и содержание локальных целей этой группы соответствует содержанию самого понятия «узкое место». Выявив в ходе противоаварийной тренировки то или иное узкое место, следует в ходе последующего анализа тренировки сформулировать также и предложения по его устранению. При этом можно проверить целесообразность вносимого предложения путем проведения дополнительной тренировки в предположении, что это мероприятие будет реализовано.

3.10.2. Членение группы целей на первом этапе можно осуществить на две задачи, а именно: выявление узких мест в объекте управления и выявление узких мест в системе управления с выработкой соответствующих мероприятий по устранению или хотя бы по ослаблению проявления узких мест. В отличие от тренировок, также назначаемых по результатам нарушений в работе и названных выше при рассмотрении целей совершенствования знаний навыков, в данном случае преследуется в первую очередь задача контроля квалификации, то есть выявления недостатков данного диспетчера.

3.11. Цель противоаварийной тренировки в общем случае предопределяет также и существенные особенности ее проведения, в частности - момент окончания тренировки. Если принять за логический конец тренировки достижение приемлемой устойчивости послеаварийной ситуации, то в зависимости от цели этой тренировки она может как доводиться до этого конца, так и прекращаться значительно ранее (даже в случае успешных действий ее участников).

Безусловно, должны доводиться до конца тренировки, имеющие целью выявление узких мест с разработкой предложений по их устранению, так как только в этом случае может быть гарантирована полнота выявления узких мест. Что же касается тренировок, имеющих целью работу с оперативным персоналом, то они, в принципе, могут прекращаться, как только будет достигнута поставленная цель обучения или контроля.

### 8.3. Оценка противоаварийных тренировок

Противоаварийные тренировки являются основной формой проверки знаний оперативного персонала и умения применять их на практике.

Оценку ликвидации аварии обычно осуществляют по пяти-балльной системе и связывают ее прежде всего с некоторым эталоном, составленным экспертами. Отклонение набора выбранных параметров управления от контрольных, включая ошибки, может характеризовать и качество управления. Такой подход кажется наиболее простым. Однако он вызывает ряд существенных вопросов и прежде всего вопрос о правомерности построения единственного решения. В творческой деятельности, каковым является процесс принятия решений при управлении сложным объектом вообще и оперативно-диспетчерское управление энергосистемой в частности, построение некоего эталона решения для данной конкретной ситуации зачастую может оспариваться тренирующимися, что является объективным фактором, так как ветвление решений происходит лавинообразно и даже при задании на каждом шаге весовых коэффициентов успешности перевода энергосистемы из состояния  $S_i$  в состояние  $S_{i+1}$  найдется множество путей, когда перевод системы из аварийного состояния  $S_a$  в состояние, близкое к исходному,  $S_n$  имеет равную сумму весовых коэффициентов решения задачи и, следовательно, они равноэффективны.

Далее предлагается иной путь оценки качества управления и через него определение профессиональных и психологических качеств диспетчера.

Методика состоит в следующем [9].

Из противоаварийной тренировки берется подробный протокол действий участника тренировки и анализируется каждое его действие, которое относится к одному из следующих классов:

1. Правильно, своевременно выполненные действия -  $q_1$ ;
2. Невыполненные действия -  $q_2$ ;
3. Неправильные действия -  $q_3$ ;
4. Действия, выполненные с опозданием -  $q_4$ ;

5. Действия, выполненные ранее необходимого -  $q_5$ ;
6. Излишние действия  $q_6$ ;
7. Неоптимальные действия  $q_7$ .

Таким образом, производится оценка каждого действия (в том числе и невыполненного необходимого).

Предложенная классификация действий позволяет получить следующий набор профессиональных и психологических характеристик диспетчера:

$$\alpha = \frac{q_1}{\sum_i q_i} - \text{профессионализм, необходимое условие высококлассной}$$

работы  $\alpha \rightarrow 1$ .

$$\rho = 1 - \frac{q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{\sum_i q_i} - \text{надежность, необходимое условие надеж-}$$

ной работы  $\rho \rightarrow 1$ .

$$\beta = \frac{q_3 + q_4}{\sum_i q_i} - \text{уровень подготовки, необходимое условие высокой подго-}$$

товленности  $\beta \rightarrow 1$ .

$$\gamma = 1 - \frac{q_5 + q_6}{\sum_i q_i} - \text{устойчивость, необходимое условие устойчивой работы,}$$

исключающей суетливость  $\gamma \rightarrow 1$

$$\delta = 1 - \frac{q_4 + q_7}{\sum_i q_i} - \text{оперативность, необходимое условие четкой работы,}$$

исключающей заторможенность  $\delta \rightarrow 1$ .

Предложенные показатели не имеют четко очерченных оптимальных границ. Более того, они могут варьироваться как по диспетчерскому персоналу одной энергосистемы, так и разных энергосистем. Эти показатели дают возможность количественно зафиксировать тенденции

в подготовке персонала, определить типы поведения диспетчеров и соответственно разработать как коллективную, так и индивидуальную подготовку диспетчеров.

Исходя из предложенных показателей, можно определить ведущий тип поведения диспетчера в стрессовой ситуации. Всего выделяют девять таких типов:

1. *«Напряженный»*. Функции выполняются человеком замедленно, напряженно, наблюдается общая заторможенность. Внешние проявления: диспетчер судорожно сжимает трубку телефона, напряженно всматривается в пульт и др. Показатель повышается при больших значениях  $q_4$  и  $\frac{q_4 + q_7}{\sum_i q_i} \rightarrow 1$ .
2. *«Трусливый»*. Диспетчер избегает выполнения своих функций, желает оттянуть время, не вмешиваться в ход событий. Показатель возрастает при  $\frac{q_2 + q_4 + q_6}{\sum_i q_i} \rightarrow 1$ .
3. *«Тормозной»*. В стрессовой ситуации возникает общая заторможенность и прекращение деятельности. Показатель растет при  $\frac{q_2}{\sum_i q_i} \rightarrow 1$ .
4. *«Агрессивно-бесконтрольный»*. Потеря самоконтроля, напористость, агрессивность, отсутствие общей цели действий. Показатель возрастает при  $\frac{q_3 + q_6}{\sum_i q_i} \rightarrow 1$ .
5. *«Уходящий в мелочи»*. Диспетчер не видит общей цели, выделив общее направление, начинает заниматься второстепенными вопросами, которые не ведут к скорейшему разрешению ситуации. Показатель увеличивается при  $\frac{q_7}{\sum_i q_i} \rightarrow 1$ .

6. «Суетливый». Диспетчер не может принять верное решение и мечется от одного решения к другому. Показатель возрастает при

$$\frac{q_5 + q_6}{\sum_i q_i} \rightarrow 1.$$

7. «Ложно-прогрессивный». Диспетчер действует активно и самоуверенно, зачастую по неправильно выбранному пути. Показатели растут при

$$\frac{q_3 + q_7}{\sum_i q_i} \rightarrow 1.$$

8. «Временно-заторможенный». В начале работы наблюдается заторможенность, затем диспетчер активно включается в работу и обычно справляется с ситуацией. Обычно наблюдаются показатели

$$\frac{q_4 + q_7}{\sum_i q_i} \rightarrow 1. \text{ в начале работы и } \frac{q_1}{\sum_i q_i} \rightarrow 1. \text{ в ходе деятельности.}$$

9. «Прогрессивный». В сложных ситуациях происходит мобилизация внутреннего состояния диспетчера (волевая, эмоциональная, интеллектуальная), и диспетчер находит оптимальное решение. Показатель решения задачи

$$\frac{q_1}{\sum_i q_i} \rightarrow 1.$$

### Коррекция поведения

1. При 1 и 2 типах поведения целесообразно увеличить продолжительность отработки навыков в сложных ситуациях. Эта категория обучающихся нуждается в помощи и поддержке, более высокой оценке, чем они того реально заслуживают. При ошибках необходимо остановить тренировку и разобрать ситуацию. Необходимо внушать веру в собственные силы.
2. При 3 и 4 типах поведения может встать вопрос о соответствии с выбранной деятельностью, о слабой теоретической подготовке. Для улучшения саморегуляции можно рекомендовать овладение аутогенной тренировкой.

3. При 5 и 6 типах поведения требуется дополнительная теоретическая подготовка, особое внимание следует уделять планированию и определению цели.
4. При 7, 8, 9 типах поведения в случае обнаружения ошибочных действий следует не останавливать ход тренировки, а дать возможность диспетчеру самому обнаружить ошибку, после чего предложить проанализировать свои действия, затем указать ключевые моменты и возможно большее число вариантов решения задачи с обслуживанием положительных и отрицательных аспектов. Критика со стороны инструктора должна быть строгой, конкретной, ориентировать обучающегося на самоконтроль и осторожность действий в сложных ситуациях.

Показатели качества ликвидации аварии и личностные психологические показатели одного из тренирующихся диспетчеров ОДУ Северо-Запада оказались равны:

$$\alpha = 0.54, \rho = 0.78, \beta = 0.84, \gamma = 0.94, \delta = 0.83 .$$

#### 8.4. Ценность оперативно-диспетчерской информации

Известно, что применяемая в теории информации мера функции  $H(X) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log h(x_i)$  справедлива для дискретных сообщений и не отражает смыслового содержания информации, ничего не говорит о ее ценности. Кроме того, величина информации по К.Э.Шеннону не может быть вычислена для неполной возможности исходов. Однако управление энергосистемой, как правило, производится в условиях неполной информации, особенно в аварийных ситуациях. Далее предлагается критерий ценности диспетчерской информации, полученной на основе рассмотрения процесса управления энергосистемой при сильных возмущениях, связанных с изменением структуры.

Процесс функционирования энергосистемы можно представить как марковский процесс, имеющий заданную таблицу вероятностей переходов из  $i$ -х состояний в  $j$ -е, когда любой элемент системы  $S - \forall q$  под действием оператора времени  $T$  из рабочего состояния переходит в нерабочее состояние

$$\begin{aligned} \exists t : \exists q : P(e_q \in m_p) \rightarrow \exists e_q \in m_n, \\ q \in S, \quad t \in T, \end{aligned} \quad (8.1)$$

где  $m_q$  – множество допустимых состояний;  $m_a$  – множество аварийных состояний;  $m_p = m_q \cup m_a$  – множество рабочих состояний;  $m_n$  – множество нерабочих состояний.

Так как состояние системы  $S-E_S(t)$  есть функция времени, то каким бы ни были малыми вероятности отдельных переходов  $p_{ij} < \varepsilon$ , всегда найдется граф последовательности состояний, переводящий систему  $S$  из начального состояния  $E_{S0}(t)$  в поглощающее  $E_{SP}(t)$  при  $t \rightarrow \infty$ ,

$$\exists t : \forall q : P(e_q \in m_p) \rightarrow \forall e_q \in m_n, \quad (8.2)$$

Для сохранения структуры системы ее регулятор  $h$  (диспетчер системы) должен обладать способностью переводить систему из любых возможных состояний в начальное

$$R : M[E_{si}(t)] \rightarrow E_{s0}(t). \quad (8.3)$$

Согласно закону необходимого разнообразия У.Р.Эшби это возможно, если разнообразие выбора регулятора  $H(R)$  не меньше разнообразия исходов состояний системы  $H(S)$

$$H(R) \geq H(S). \quad (8.4)$$

За меру разнообразия марковских цепей принята энтропия системы

$$H(X) = -\sum_{i=1}^N p(x_i) \log p(x_i),$$

которая определяется как среднее значение энтропий строк матрицы вероятностей, причем каждая из них берется с весом, пропорциональным той относительной частоте, с которой состояние, соответствующее этой строке, будет встречаться, когда последовательность пришла к равновесию. Уменьшение энтропии трактуется как информация  $I = \Delta H$ , так как при этом уменьшается неопределенность в состоянии системы  $E(S)$ . Данное определение энтропии и, следовательно, информации введено при следующих допущениях:

- система должна достигнуть равновесного состояния;
- матрица переходных вероятностей должна быть марковской;
- сумма вероятностей каждой строки матрицы должна равняться 1.

Помимо вероятностного подхода к определению основных понятий теории информации А.Н.Колмогоров отметил комбинаторный и алгоритмический. Считая основным элементом, формирующим структуру системы, выключатель, который может находиться только во включенном или отключенном положении, далее используется комбинаторный подход который является не менее строгим, чем два других.

Для дискретных систем, стремящихся сохранить свою организованность, ценность информации, по нашему мнению, состоит в указа-

нии вида внешнего возмущения  $D$ , так как возможные при этом переходы системы в другие состояния определяются структурой схемы и заданы априори

$$D : E_{s0}(t) \rightarrow M(E_{si}). \quad (8.5)$$

При этом согласно (8.1) найдется по крайней мере один элемент системы, такой что изменит свое состояние

$$\exists d : \exists q : (e_q \in m_\delta) \left\{ \begin{array}{l} \exists e_q \in m_\delta \cup m_a \\ \exists e_q \in m_n, d \in D. \end{array} \right. \quad (8.6)$$

Для открытой системы, какой является энергосистема, воздействие оператора времени в уравнении (8.1) равнозначно действию оператора внешнего возмущения  $D$  в уравнении (8.6), так как  $D = f(T)$ .

Если внешнее возмущение не изменяет состояние системы

$$D_i : E_{s0}(t) \equiv E_{s0}(t), \quad (8.7)$$

то считается, что оператор  $D$  равен нулю ( $D=0$ ). В общем случае под воздействие оператора  $D$  изменяют свое состояние  $n$  элементов системы

$$D : \begin{cases} q_1, q_2, \dots, q_n, \dots, q_p, \dots, q_m; \\ q'_1, q'_2, \dots, q'_n, \dots, q'_p, \dots, q'_m; \end{cases} \quad (8.8)$$

Если до действия оператора  $D$  возможные переходы определяются через вероятности, то после его воздействия событие (8.5) становится достоверностью и каждый элемент системы  $q_i$  с вероятностью, равной единице ( $p = 1$ ), изменит свое состояние или останется в прежнем.

Следовательно, диспетчер по изменению состояний элементов системы  $q_i$  должен определить внешнее возмущение  $D$ , что он выполняет, сопоставляя полученный ряд элементов с заложенными в память комбинациями элементов  $\sum q_i$ , соответствующее операторам  $D_j$ . Так как управление производится по модели системы, то, зная структуру

системы, диспетчер оценивает оператор по модели с какой-то вероятностью и затем определяет стратегию перевода системы из состояния  $E_{sk}(t)$  в  $E_{s0}(t)$ , т.е. решает уравнение

$$p(\text{mod } S)D : \sum \lambda_{ij} : E_{sk}(t) \rightarrow E_{s0}. \quad (8.9)$$

Таким образом, управление есть выбор последовательности изменения состояния системы  $\sum \lambda_{ij}$ . Однако значение переходов  $q_n \rightarrow q'_n$  может быть неполным, что является основным фактором в вероятностном определении оператора  $D$  по (8.8). Если же согласно (8.8) диспетчеру известны все переходы, то оператор  $D$  будет определен однозначно (при вероятности ошибки диспетчера равной нулю,  $p_0=0$ ) в силу структурной организованности системы, причем оператор  $D$  обычно представляет собой множество элементарных операторов  $D = \sum_{i=1}^n d_i$ , одинаково воздействующих на систему. Тогда можно предположить, что увеличение информации при определении некоторого числа элементов  $\sum_{i=1}^n q'_i$ , изменивших свое состояние, пропорционально полному числу элементов, которые должны изменить свое состояние, т.е. полной информации

$$\frac{dI}{di} = \alpha I. \quad (8.10)$$

Решение этого уравнения

$$I = I_0 e^{\alpha i}, \quad (8.11)$$

где  $\alpha = \frac{1}{n}$ .

Введенное понятие количества информации обладает следующими свойствами:

оно зависит от длины алфавита;

оно обладает свойством насыщения, т.е. при большем алфавите знание изменения состояния одного элемента имеет меньшую ценность, чем при меньшем алфавите;

оно обладает избыточностью, т.е. при заданном  $n$  знание состояния  $m$  элементов, таких, что  $m > n$ , не влияет существенно на определение оператора  $D$ . Таким образом, введенное понятие информации  $I_0$  и ее ценности  $c = \alpha_i$  характеризует вероятность правильного определения внешнего возмущения  $D$ . Предлагаемая трактовка информации получена логическим путем при анализе процессов управления организованных систем. По содержательному значению оно близко к понятию ценности информации, предложенному А.А.Харкевичем

$$c = \log \frac{P_1}{P_0} \quad (8.12)$$

где  $P_1$  и  $P_0$  – вероятность достижения цели соответственно до получения информации и после ее получения.

Таким образом, критерием ценности диспетчерской информации является указание вида возмущения, действовавшего на систему, что необходимо для определения стратегии перевода системы из текущего состояния в исходное или близкое к нему. В нормальных режимах внешнее возмущение (плановые заявки) указываются заранее и управление производится в условиях полной информации. В аварийных режимах внешнее возмущение в начальный момент аварии определяется диспетчером по изменению состояний в общем случае части элементов системы и управление производится, как правило, в условиях неполной информации.

## 9. Тренажеры

### 9.1.Режимный тренажер

**Назначение.** Режимный тренажер предназначен для проведения сеансов противоаварийных тренировок с отображением оперативному персоналу, участвующему в тренировке, режима энергосистемы по частоте–активной мощности, напряжению–реактивной мощности и состояния коммутационного оборудования распределительных устройств станций и подстанций.

Тренажер имеет следующие особенности:

моделирование в ходе тренировки состояния коммутационных схем подстанций и автоматический учет в режимной модели изменений коммутационного состояния оборудования; возможно разделение схемы энергосистемы на несколько изолированно работающих частей с последующим их объединением;

режимная модель энергосистемы позволяет моделировать установившиеся режимы, электромеханические переходные процессы и длительные переходные режимы, причем переход с одной модели на другую выполняется автоматически с учетом ситуации, складывающейся в процессе тренировки;

отображение оперативной обстановки диспетчеру может быть выполнено не только на экранах компьютеров, но и на тренировочном диспетчерском щите с использованием оперативно-информационного комплекса автоматизированной системы диспетчерского управления (ОИК АСДУ) энергосистемы.

Тренажер можно использовать не только в учебных центрах, но и в производственных условиях для обучения и плановых тренировок персонала диспетчерских служб, оперативного дежурного персонала станций и подстанций. Настройка тренажера на заданную схему энергосистемы производится через исходные данные. При подключении к

данным ОИК АСДУ тренажер может использовать в качестве исходного режима текущий режим работы энергосистемы.

**Технические средства режимного тренажера.** Тренажер функционирует в локальной сети компьютеров типа IBM PC/AT, рис.20. Рабочие места инструктора, проводящего тренировочное занятие, диспетчеров, участвующих в тренировке, посредника, который следит за работой модели энергосистемы и помогает инструктору, располагаются, как правило, в различных помещениях и оборудуются телефонной связью. Максимально допустимое количество рабочих мест тренажером не ограничивается, а определяется возможностями учебного центра.

На моделирующем компьютере работает математическая модель режимного тренажера. Результаты расчета режима энергосистемы в виде телеизмерений и состояние коммутационного оборудования объектов энергосистемы в виде телесигналов передаются на сетевой сервер, откуда считываются программой отображения режима энергосистемы, работающей на компьютерах, установленных на рабочих местах инструктора, диспетчеров, посредника и др. Инструктор и диспетчеры могут выводить на дисплей всю необходимую им информацию. При помощи этой же программы, как инструктор, так и диспетчеры по локальной сети могут непосредственно управлять моделью энергосистемы (изменение активной мощности агрегатов, потребления, состояния коммутационных аппаратов), которая работает на моделирующем компьютере. Диспетчеры могут отдавать команды на объекты подчиненному оперативному персоналу по телефону через инструктора и посредника. Управляющие воздействия вводятся в модель. Результат этих воздействий в виде изменения состояния выключателей, разъединителей, параметров режима тут же отображается на дисплеях и на тренировочном диспетчерском щите.

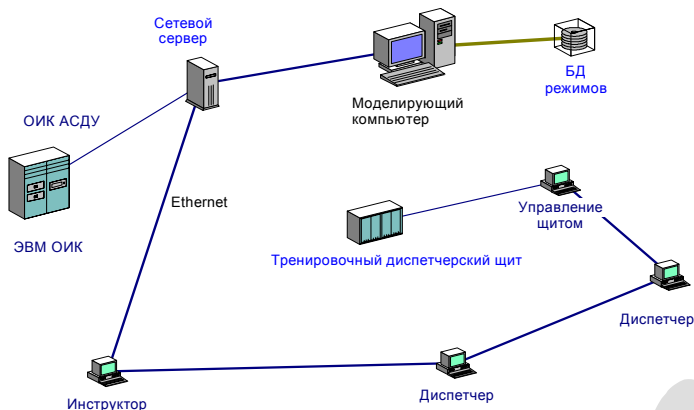


Рис 20. Структурная схема комплекса технических средств тренажера

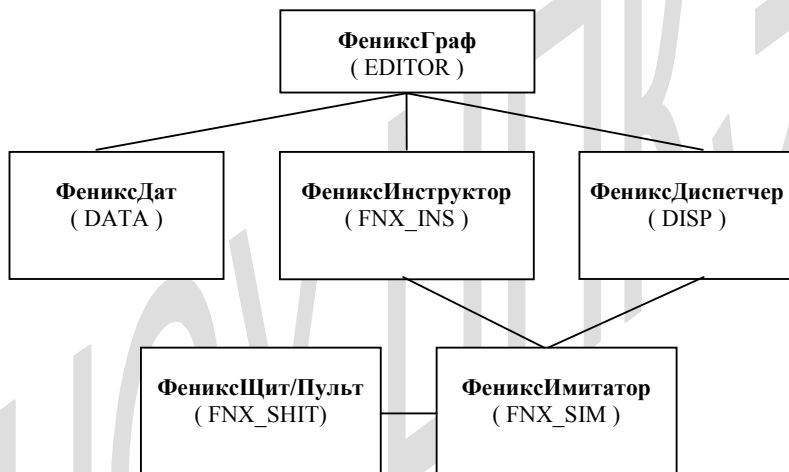


Рис 21. Блок-схема программного обеспечения тренажера.

Управление тренировочным диспетчерским щитом осуществляет специальная программа, работающая на отдельном компьютере. Управление микроконтроллерами системы отображения тренировочного щита осуществляется через COM-порт компьютера. Вместо последовательного интерфейса RS-232 могут использоваться и другие интер-

фейсы со специальным преобразователем интерфейса, подключаемого к СОМ-порту. Микроконтроллеры системы отображения щита обеспечивают световую индикацию положения выключателей и разъединителей, а также выводят цифровую информацию по частоте, напряжению и перетокам активной мощности на соответствующие индикаторы.

**Программное обеспечение режимного тренажера.** Комплекс программ называется ФЕНИКС (автор В.Т.Воронин) и включает в себя: графический редактор электрических схем, систему подготовки данных, интерфейс диспетчера, интерфейс инструктора, модель энергосистемы, интерфейс управления диспетчерским щитом/пультом, рис.21. Программы написаны на языке С++ и предназначены для работы в операционной среде Windows. Все программы комплекса, кроме программы *ФениксИмитатор*, моделирующей энергосистему, имеют оконные процедуры отображения и корректировки данных либо управления процессом тренировочного занятия с использованием стандартных органов управления и диалоговых панелей Windows. Управление всеми пунктами меню, опциями и командами осуществляется с помощью мыши.

Графический редактор *ФениксГраф* предназначен для подготовки электрических схем энергосистемы и ее объектов, которые отображаются в интерфейсах диспетчера и инструктора, и задания элементам схем необходимых параметров.

Программа подготовки данных *ФениксДат* обеспечивает ввод и изменение исходных данных, описывающих модель энергетической системы. Программа позволяет вводить и изменять параметры коммутационной схемы, схемы замещения, телеинформации. Кроме того, система подготовки данных позволяет сформировать состав и задать уставки и управляющие воздействия системной противоаварийной автоматики и/или задать временную последовательность событий в энергосистеме в сценарии.

Интерфейс инструктора *ФениксИнструктор* обеспечивает управление режимной моделью тренажера инструктором, ведущим тренировку. Инструктор или посредник может вводить управляющие воздействия, соответствующие тем командам, которые отдает диспетчер подчиненному оперативному персоналу. Так, инструктор может вклю-

чать-отключать выключатели в схемах подстанций, загружать-разгружать энергоблоки электростанций по активной мощности, управлять режимом энергосистемы по напряжению, изменяя генерацию реактивной мощности и регулируя коэффициенты трансформации трансформаторов и автотрансформаторов. Кроме этого инструктор может следить за выполнением сценария тренировки и работой противоаварийной автоматики, а также запоминать текущие режимы энергосистемы для выполнения отката назад при проведении учебных тренировок.

Интерфейс диспетчера *ФениксДиспетчер* построен аналогично системе отображения ОИК и предназначен для отображения схем электростанций, подстанций и районов энергосистемы с данными телеизмерений. Предусмотрена также возможность непосредственного управления элементами электрической схемы объектов, отображаемых на экране, как и в интерфейсе инструктора.

Модель диспетчерского щита (пульта) *ФениксЩит* предназначена для ввода-вывода информации об оперативном состоянии режимной модели энергосистемы на средства отображения и управления диспетчерского щита, на котором проводится тренировка. При наличии связи по локальной сети с действующим ОИК диспетчерской службы, рис.20, имеется возможность использовать для тренировок и анализа текущие режимы энергосистемы. Информация может выводиться на коммутационную схему и цифровые приборы диспетчерского щита, на приборы и сигнализацию диспетчерского пульта. При необходимости в модель щита может быть введена возможность управления режимом системы освещения, системой имитации звуковых эффектов и др.

**Математическая модель энергосистемы.** Модель энергосистемы выполнена двухуровневой, состоящей из коммутационной и режимной моделей и позволяет имитировать все, либо основные оперативные состояния и режимы, встречающиеся при проведении противоаварийных тренировок.

*Коммутационная модель* энергосистемы. Коммутационная модель обрабатывает элементы, которыми представлена энергосистема в оперативном управлении (системы шин, трансформаторы, линии электропередачи, генераторы и др.). Входной информацией алгоритмов

коммутационной модели являются: описание коммутационной схемы энергосистемы и наборы параметров элементов схемы замещения. Выходной информацией алгоритмов коммутационной модели являются: схема замещения электрической части энергосистемы с параметрами элементов, параметры эквивалентных генераторов для расчета переходных режимов.

Режимная модель должна имитировать изменение параметров режима энергосистемы в различных аварийных ситуациях, таких как отключение линий, выпадение из синхронизма, отклонения частоты и напряжения, отклонение генерации и нагрузки от плановых. Поэтому режимная модель включает следующие алгоритмы расчета режимов: расчет установившегося режима, расчет электромеханических переходных процессов (быстрая динамика) и расчет длительных переходных режимов энергосистемы (длительная динамика), рис.22.

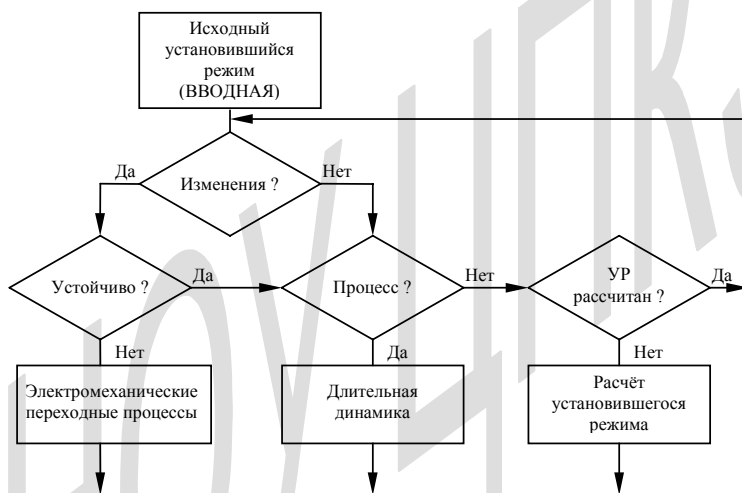


Рис 22. Блок-схема алгоритма режимной модели энергосистемы

Если переходный процесс устойчив, расчет ведется по алгоритму длительной динамики, если неустойчив, по алгоритму быстрой динамики. Это позволяет моделировать в сеансе тренировки не только

переходные режимы, связанные с изменением частоты, но и процессы нарушения синхронной динамической устойчивости, например, асинхронный ход по связи и разделение энергосистемы на несинхронно работающие части.

При расчете быстрой динамики учитываются переходные процессы в обмотке возбуждения эквивалентных генераторов. Автоматические регуляторы возбуждения и частоты вращения генераторов представляются инерционными звеньями первого порядка с ограничениями. Расчет электромеханических переходных процессов при ограниченных вычислительных ресурсах приводит к замедлению процедуры имитации процессов в энергосистеме относительно реального времени, поэтому переход к моделированию этих процессов осуществляется только тогда, когда возмущение может привести или привело к нарушению динамической устойчивости.

При расчете длительных переходных процессов интегрируются только уравнения движения генераторов, что позволяет на порядок увеличить шаг интегрирования (относительно быстрой динамики) и обеспечить реальный масштаб времени даже при ограниченных вычислительных ресурсах компьютера, на котором работает режимная модель энергосистемы. Для правильного отображения распределения нагрузки между эквивалентными генераторами и потокораспределения в сети при небалансе мощности в энергосистеме определяется индивидуальное скольжение вектора ЭДС каждого генератора относительно центра инерции системы.

В алгоритме длительной динамики предусмотрено также упрощенное моделирование тепловой части электростанций, что может быть важно для затянувшихся аварийных ситуаций. В конце перехода энергосистемы (или ее частей, при делении на несинхронно работающие части) к новому установившемуся состоянию выполняется переключение на алгоритм расчета установившегося режима.

В моделируемой энергосистеме может учитываться зависимость нагрузки от частоты, при этом принимается, что эта зависимость во всех узлах одинакова. Зависимость нагрузки от напряжения учитывается по статическим характеристикам отдельно для каждого узла нагрузки.

В режимной модели энергосистемы применен оригинальный алгоритм переключения моделей быстрой и длительной динамики. Выявление факта, либо возможности нарушения динамической устойчивости для переключения между алгоритмами расчета динамики производится прямым методом оценки устойчивости, основанном на методе энергетических функций (втором методе Ляпунова). Для этого вычисляются и сравниваются два значения энергетической функции (функции Ляпунова) — в момент окончания возмущения  $L_g$  и критическое значение  $L_{кр}$ , которое является мерой потенциальной энергии в седловой точке функции  $L$ . Если  $L_g < L_{кр}$ , переход устойчив, в противном случае переход неустойчив.

Расчет установившегося режима выполняется методом Гаусса-Зейделя на первоначальных этапах итерационного процесса, а затем методом Ньютона-Рафсона. При решении алгебро-дифференциальной системы уравнений динамики применен неявный метод численного интегрирования.

**Тренировочное занятие.** Инструктор готовит противоаварийную тренировку, используя систему подготовки исходных данных *Феникс/Дат* тренажера, и проводит учебные или зачетные сеансы тренировок. К проведению тренировок при необходимости может привлекаться посредник, для проведения сложных тренировок могут привлекаться несколько посредников с оборудованием для них рабочих мест с компьютером и телефонной связью. Это позволяет инструктору сосредоточиться на контроле действий оперативного персонала.

Инструктор в тренировочном занятии является лицом, руководящим проведением тренировки. Он играет в тренировке роль руководства энергосистемой и, одновременно, вместе с посредником выполняет функции подчиненного по отношению к диспетчерам персонала, имитируя прием и исполнение команд диспетчеров на объектах энергосистемы. В модель энергосистемы вводятся соответствующие управляющие воздействия:

коммутационные изменения в схемах распределительных устройств станций и подстанций;

изменение управляемых параметров (регулирование активной мощности агрегатов электростанций, смена уставок АРВ генераторов электростанций, изменение положения РПН автотрансформаторов, отключение/включение нагрузки в узлах энергосистемы).

Для управления сеансом тренировки инструктор имеет возможность получить дополнительную информацию:

отобразить подробный электрический режим отдельных узлов ЭЭС;  
просмотреть перечень событий, заданных в сценарии тренировки, с указанием выполненных и ожидающих выполнения событий;  
просмотреть сообщения о работе противоаварийной автоматики.

Для обучаемого (тренируемого) диспетчера (диспетчерской вахты) в учебном или зачетном сеансе тренировки можно выделить три этапа:

начальный период уяснения исходного оперативного состояния схемы и режима энергосистемы. На этом этапе диспетчер активно работает с интерфейсом диспетчера (программа *ФениксДиспетчер*) и вызывает на связь инструктора и/или посредников для уточнения режима работы и состояния оборудования объектов энергосистемы, по которым в интерфейсе диспетчера и на тренировочном щите отсутствует текущая информация, а также для уточнения состояния схемы;

период развития аварийной ситуации по сценарию тренировки при участии противоаварийной автоматики, во время которого обучаемый оценивает сложившуюся ситуацию и намечает план ликвидации аварии. Оценка ситуации производится на основе информации, получаемой при помощи интерфейса диспетчера и с тренировочного диспетчерского щита, а также по сообщениям с мест, которые воспроизводят инструктор (посредник), действующие в тренировке за подчиненный оперативный персонал;

период ликвидации аварийной ситуации и восстановления оперативного состояния энергосистемы, приемлемого по надежности, экономичности и бесперебойности питания потребителей данного аварийного района энергосистемы. Диспетчер реализует план ликвидации аварии посредством выдачи команд на объекты, которые вводит в модель инструктор (посредник), управляя моделью энергосистемы. Возможен и

самостоятельный ввод команд управления диспетчером со своего рабочего места через интерфейс диспетчера. Результаты исполнения команд диспетчер отслеживает на экране дисплея своего интерфейса, а также на щите.

Тренировка завершается разбором тренировки с анализом действий диспетчера (диспетчерской вахты). Для проведения разбора тренировки можно вывести на печать протокол тренировки с записями о событиях и управляющих воздействиях, которые происходили в определенные моменты времени. При проведении зачетных тренировок или конкурсов диспетчеров можно производить запись оперативных переговоров и использовать ее при разборе действий персонала.

## 9.2. Тренажер оперативных переключений

**Назначение.** Тренажерный программный комплекс TWR12 (автор А.С.Рожков) предназначен для создания и проведения тренировочных и зачетных занятий по плановым и аварийным оперативным переключениям в схемах электростанций и подстанций.

Основой тренажера является экспертная система, использование которой обеспечивает гибкость при создании разнообразных учебных задач. Контроль выполняемых операций осуществляется с помощью метабазы знаний, в которой описаны основные правила типовой инструкции по переключениям в электроустановках. Тренажер может быть использован в учебных центрах и в производственных условиях для обучения, плановых тренировок и проведения конкурсов оперативного персонала диспетчерских служб энергосистем, МЭС, ПЭС и электростанций.

**Технические средства.** Тренажерный программный комплекс функционирует на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows 98, ME, 2000 и старше. Хотя тренажер работоспособен и на морально устаревших компьютерах, для комфортной работы на тренажере рекомендуется использовать современный мультимедийный компьютер с объемом оперативной памяти не менее 128 Мбайт. Обязательно наличие мощной видеокарты с памятью 32 Мбайт и звуковой карты с выходом на звуковые колонки. В последних версиях комплекса поддерживается сетевой режим работы, что позволяет организовать учебную или контрольную тренировку одновременно на нескольких персональных компьютерах, которые должны отвечать вышеуказанным требованиям.

**Программное обеспечение.** Тренажерный программный комплекс TWR12 включает в себя программу для создания и редактирования элементов и мнемосхем электроустановок *TWR12Cad* (векторный графический редактор схем) и программу для создания, редактирования и сопровождения тренировок *Twr12tren* (тренажер оперативных переключений) на основе схем, созданных в графическом редакторе.

Графический редактор помимо поставляемого набора элементов схем электроустановок позволяет создавать пользовательские наборы графических элементов с набором настраиваемых атрибутов (размеры, цвета, текст, включенное и отключенное состояния и др.) и набирать из этих элементов схемы электроустановок произвольной сложности.

Тренажер оперативных переключений имеет модульную структуру. Такая структура позволяет наращивать и совершенствовать функциональность тренажера в процессе его развития путем подключения к имеющемуся тренажеру дополнительных модулей. В настоящее время разработаны и поставляются дополнительные модули, инкапсулирующие модели различных устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА). Для подключения устройства РЗА к какому-либо элементу схемы достаточно указать соответствующий элемент и установить зоны чувствительности и срабатывания устройства. Имеются специальные модули, позволяющие генерировать долговременный рейтинг участников тренировок, создавать бланки оперативных переключений для созданных тренировок и др. Тренажер имеет несколько режимов работы: создание тренировки, редактирование тренировки, проведение учебной (с возможностью вызова подсказки), зачетной или рейтинговой тренировки. Проблема наглядности и осозаемости совершаемых операций, присущая многим компьютерным тренажерам, в этом тренажере частично решена путем подключения видео- и/или звуковых эффектов из обширной библиотеки, в которой хранятся avi и wav файлы.

**Подготовка тренировочного занятия.** Прежде всего, необходимо создать в графическом редакторе схему объекта. Обязательным атрибутом всех элементов схемы, который необходимо задать, является класс напряжения. Для элементов схемы, задействованных в переключениях, нужно обязательно задать имена (оперативное наименование элемента), которые используются для генерации подсказки, бланка переключений и протокола тренировки. Имена целесообразно ввести для всех оперативных элементов схемы. Чтобы тренажер мог определить наличие напряжения, нагрузку, генерацию, необходимо чтобы на схеме присутствовали элементы, являющиеся источником напряжения (генератор, сис-

тема), и потребители. Для проведения операций на панелях РЗА необходимо ввести панели РЗА, токовых цепи и цепей сигнализации. Панели можно привязать к конкретным элементам схемы. На схему можно нанести вспомогательные элементы, не входящие в состав схемы, для организации пользовательского интерфейса тренировочного занятия. Например, можно добавить на схему кнопку «Начало тренировки». При создании тренировки эту кнопку можно запрограммировать на запуск тренировки с выводом на экран вводных сообщений или на создание в схеме аварийной ситуации, вызванной повреждениями или коммутациями элементов схемы.

Для создания тренировки тренажер переводится в соответствующий режим. Тренировку можно создавать как новую, сохраняя ее в файле, либо редактировать ранее созданные тренировки, прочитанные из файла. Создание тренировки начинается с установки начального состояния элементов схемы — коммутационных аппаратов, РЗА, токовых цепей, сигнализации, оперативного тока, предохранителей, плакатов, ограждений, переносных заземлений, если они должны быть наложены в исходном состоянии, и др. После завершения установки исходного состояния схемы тренажер автоматически генерирует и записывает файл тренировки. Фактически тренировка уже создана, и ее можно использовать в режимах учебного или проверочного занятий. Тренажер будет контролировать соответствие операций типовой инструкции по производству оперативных переключений, но без генерации подсказок. Протокол тренировки будет содержать только выполненные операции без оценки.

Можно задать эталонную последовательность операций, выполняя на тренажере операции, соответствующие сценарию тренировки (бланку переключений). Помимо операций с аппаратами предусмотрены операции с РЗА, токовыми цепями и цепями сигнализации на панелях, созданных в редакторе схем *Twr12Cad*, переговоры по телефону с выбором абонента из меню, дополнительные операции, выбираемые из меню. Выполненные операции преобразуются тренажером в правила, которые сохраняются в текстовом файле. Впоследствии, во время тренировки, экспертная система проверяет правильность выполнения именно этой последовательности правил. В учебном режиме появляется воз-

возможность получить подсказку о следующей операции. При генерации протокола контрольного занятия тренажер может автоматически формировать оценку за выполненное задание в соответствии с заданной системой оценки операций. Структура правил, формируемых экспертной системой, документирована, поэтому опытный инструктор может создавать или редактировать тренировку, работая непосредственно с текстовым файлом.

Тренажер имеет развитую систему контроля последовательности операций, основанную на predetermined «типах» операций:

1. *«Альтернативная с контролем порядка выполнения»* – нарушение в тренировке последовательности выполнения операций данного типа не считается ошибкой, но может фиксироваться в протоколе и/или отображаться сообщением на экране.
2. *«Альтернативная в заданной области выполнения»* – такой тип операции целесообразно установить, если требуется, чтобы несколько операций можно было выполнять в любой последовательности, но только в заданной области сценария переключений. Любую из этих операций нельзя выполнить, пока не будут выполнены все операции, предшествующие заданной области. Если не будут сделаны все операции заданной области, никакую из последующих операций также нельзя выполнить. Нарушение этой последовательности фиксируется в протоколе и/или отображается сообщением на экране и учитывается при оценке.
3. *«Необязательная»* – операция, которую в процессе тренировки можно не выполнять. Эта операция будет отмечена тренажером только при формировании бланка переключений.
4. *«Обязательная со строгим порядком выполнения»* – операция, которая должна быть выполнена только в том месте сценария, где она установлена, т. е. эта операция может быть выполнена только, когда все операции до нее уже выполнены и любая из следующих за ней операций должны выполняться только после нее. Нарушение этих условий воспринимается программой как ошибка и фиксируется в протоколе и/или отображается сообщением на экране.

С любой операцией можно связать произвольное количество сообщений, выводимых на дисплей. К операциям можно привязать мультиме-

дийные видео- и звуковые файлы, которые будут проигрываться при выполнении этих операций на схеме. По сценарию созданной тренировки тренажер генерирует бланк оперативных переключений. Создание тренировки можно прекратить в любой момент, сохранив результат на жестком диске.

**Проведение тренировочного занятия.** Предусмотрены учебные тренировочные занятия и контрольные занятия. Они отличаются друг от друга деталями учета конечного результата. Выбор типа занятия осуществляется после загрузки тренировки из файла.

При загрузке мнемосхема объекта автоматически устанавливается в заданное при составлении тренировки начальное состояние. В процессе учебной тренировки можно выполнять необходимые по заданию тренировки операции в любом порядке, который не противоречит инструкции по производству переключений и правилам сценария, сформированного при подготовке тренировки. При наличии сценария выполнения задания можно воспользоваться справкой и посмотреть следующее действие, которое необходимо выполнить. В контрольном режиме справка отключена.

Протокол каждой тренировки записывается в текстовый файл, который можно просмотреть в стандартном текстовом редакторе операционной системы и распечатать. При проведении контрольных тренировок в протокол заносятся фамилия, имя, отчество и должность участника, его оценка в баллах. Протокол подписывается контролирующими лицами или судейской бригадой.

## **10. Советчик диспетчера**

Диспетчерское управление энергосистемами в аварийных ситуациях во многом определяется опытом и интуицией человека, являясь в значительной мере искусством, приобретаемым в результате длительной работы.

Решения, принимаемые даже опытными диспетчерами, часто не оптимальны, являются либо избыточными, либо недостаточно эффективными в силу принципиальных ограничений человека. Сложность задачи аварийного управления связана с необходимостью анализа больших объемов, как правило, неполной и частично недостоверной информации для построения адекватного представления об аварийном состоянии энергосистемы, принятия решений по управлению в условиях дефицита времени [10].

В одной из основополагающих работ по кибернетике С.Бир выдвинул тезис о необходимости создания усилителя умственных способностей человека, а не копирования его поведения во всем многообразии морфологических особенностей. Характеризуя возможности человека-оператора, С.Бир пишет: «Мозг – это механизм, который обладает всеми свойствами, необходимыми для планирования – ибо он может обучаться, приспосабливаться, импровизировать и распознавать образы быстро и эффективно. Именно поэтому основным, решающим звеном в цепи обратной связи системы автоматизированного управления производством мы до сих пор считали человека. Почему же мы теперь хотим заменить его автоматическим устройством? Ответ однозначен: мозг не может усваивать достаточного количества фактов, не может достаточно быстро классифицировать эти факты, не может помнить их достаточно долго, подвержен эмоциональному и семантическому шуму, утомляется».

Применение ЭВМ в оперативном управлении значительно усиливает возможности диспетчера. При этом наибольший эффект следует ожидать тогда, когда ЭВМ выполняет не только функции сбора, обработки и представления оперативной информации, но и, что более существенно, автоматически определяет аварийные ситуации и выдает советы диспетчеру по оптимальному управлению. Решение данной пробле-

мы может быть реализовано только на базе АСДУ, позволяющей создать высокоэффективные человеко-машинные системы, главным содержанием которых является советчик диспетчера [11].

Рекомендации, даваемые диспетчеру советчиком, должны иметь завершенный характер и не требовать от него согласования нескольких рекомендуемых действий, так как это приводит к дополнительной загрузке диспетчера, особенно нежелательной в аварийных ситуациях. Советчик должен выдать одно «хорошее» из множества «хороших» по Паретто решений. Такое решение могло бы быть выполнено и автоматическим устройством. Естественно, что советчик может быть использован не только в темпе процесса, но также для первоначальной подготовки диспетчера, при проведении противоаварийных тренировок, при персональном и коллективном тренажере и др.

Советчик, как элемент параллельный мозгу диспетчера, может быть эффективным только, когда он генерирует управляющие действия не слабее, чем это делает человек, иначе это будет блок дополнительной памяти, содержащий ряд рекомендаций жесткого хода на ряд заранее запрограммированных ситуаций. Программы и устройства на базе «жесткого хода», т.е. содержащие набор заранее подготовленных решений на заранее выбранные ситуации, являются слабыми помощниками в процессе реального течения аварии в сложной системе.

В практике современного оперативного управления энергосистемами нашли применение такие методы ликвидации аварийных ситуаций, которые представляют собой следующие ситуационные алгоритмы:

$u_1$  – ликвидация аварийных отклонений частоты, обменных перетоков активной мощности или перегрузок ВЛ и трансформаторов по току перераспределением активных мощностей генерации и потребления;

$u_2$  – ликвидация перегрузок по току ВЛ и трансформаторов изменением реактивных мощностей генерации и потребления и изменением коэффициентов трансформации;

$u_3$  – поддержание напряжения в контрольных точках перераспределением реактивных и активных мощностей;

$u_4$  – ликвидация аварийных изменений структуры энергосистем, включая подачу напряжения на питание собственных нужд АЭС и нагруженных блоков, выделившихся на небольшую нагрузку.

Среди проблем, с которыми сталкивается диспетчер, особое место занимают разделение энергосистем и энергообъединений на несинхронно работающие части и погашение отдельных районов. Стратегия управления в аварийных ситуациях подобного рода заключается в установлении очередности восстановления питания погашенных районов, определении порядка синхронизации отдельных частей, подачи напряжения на сборные шины АЭС для надежного питания собственных нужд, а также в обеспечении нагрузки на выделившиеся блоки АЭС и ГРЭС. Данная задача представляет собой управление структурой энергосистем и энергообъединений.

За целевую функцию управления структурой можно принять ущерб потребителям от недоотпуска электроэнергии за время погашения. Ущерб при этом имеет достаточно условную диспетчерскую «стоимость», так как служит для сравнительного выбора вариантов управления, в связи с чем значение реального ущерба потребителям не сильно влияет на получение оптимального решения. Такие же весьма общие оценки важности потребителей с точки зрения их энергоснабжения использует и диспетчер. Суммарный условный ущерб за время погашения  $\Delta t$  или значение целевой функции  $Y$  имеет вид:

$$Y = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i \Delta t = \sum_{i=1}^n C_i \Delta t, \quad (10.1)$$

где  $P$  – величина отключенной мощности;  $\alpha$  – цена потребителя;  $C = \alpha P$  – стоимость узла нагрузки.

Значение целевой функции зависит от последовательности соединения частей; математически – это задача поиска оптимальной траектории на множестве траекторий  $R$ , реализующей минимум целевой функции  $Y(k)$ . В процессе ликвидации аварийной ситуации суммарная стоимость отключенных потребителей уменьшается. При сделанных ранее предположениях это уменьшение происходит скачками. Точкам разрыва функции стоимости  $C$  соответствуют моменты времени  $T_k$  воз-

никновения части энергосистемы  $k$  в результате соединения некоторых двух частей.

Если  $Y_k$  - значение ущерба, полученное к моменту времени  $T_k$ , то к моменту времени  $T_{k+1}$  ущерб увеличится на величину  $C_k(T_{k+1} - T_k)$ , где  $C_k$  - значение функции на промежутке  $[T_k, T_{k+1}]$

$$Y_{k+1} = Y_k + C_k(T_{k+1} - T_k). \quad (10.2)$$

Функция ущерба является кусочно-линейной и монотонно возрастающей функцией.

Алгоритм поиска оптимального пути решения задачи исходит из построения рекордной траектории следующим образом. Предположим, что система разделилась на  $n$  частей, каждая из которых характеризуется двумя значениями:  $P_i^H$  - величиной погашенных потребителей и  $P_i^P$  - резервом мощности. Упорядочим последовательности  $(P_i^H)$  и  $(P_i^P)$  по убыванию значений. В результате образуется перестановка чисел  $(u_i)$  и  $(v_i)$ . Пусть  $I$  - минимальный индекс, для которого  $P_u^H(I) = 0$  или  $P_{v_i}^P = 0$ . Будем считать, что на первых  $I-1$  шагах одна из соединяемых частей  $u_j$ , а вторую часть назначаем при просмотре упорядоченной последовательности  $(P_i^P)$ , в которой выбирается первый свободный элемент  $k$  так, чтобы соединение частей  $(u)$  и  $(v)$  было возможно (имелись соединяющие связи). В результате принимается решение о параллельности выполнения первых  $m$  шагов ( $m \leq I-1$ ). После окончания какого-либо шага все не участвующие в данный момент в соединении части вновь упорядочиваются и процедура повторяется. По данному алгоритму разработана эффективная программа

Оптимальная стратегия управления энергосистемой в аварийных ситуациях имеет вид:

$$S : u_4^{(1)} \rightarrow u_4^{(2)} \rightarrow (u_1 u_2 u_3) \rightarrow u_4^{(3)}, \quad (10.3)$$

где  $u_4^{(1)}$  – подача напряжения на шины собственных нужд АЭС;  $u_4^{(2)}$  – нагружение блоков АЭС и ГРЭС;  $u_4^{(3)}$  – синхронизация разделившихся частей.

Ситуационный алгоритм  $u_4^{(1)}$  выполняется прежде всего в силу чрезвычайной опасности, связанной с потерей питания собственных нужд АЭС. Алгоритм содержит поиск связи достаточной пропускной способности с любым участком энергосистемы, находящимся под напряжением. Предложено в качестве функции, подлежащей оптимизации, использовать время подачи напряжения по линии электропередачи достаточной пропускной способности

$$\begin{aligned} \min T_{I_i} \\ I_i \in L_{ik} \in S_k, \end{aligned}$$

где  $I_i$  – связь  $i$ -й части энергосистемы, имеющей в своем составе АЭС;  $L_{ik}$  – все связи между  $i$ -й частью и другими частями энергосистем  $S_k$ , находящимися под напряжением.

Алгоритм  $u_4^{(2)}$  содержит в качестве целевой функции также время включения линии электропередачи достаточной пропускной способности

$$\begin{aligned} \min T_{I_j} \\ I_j \in L_{jm} \in S_m, \end{aligned}$$

где  $I_j$  – связь  $j$ -й части энергосистемы, в которой оказались разгруженные блоки с приоритетом АЭС;  $L_{jm}$  – все связи между  $j$ -й частью и другими частями энергосистем  $S_m$ , способными принять дополнительную мощность. Алгоритм  $(u_1, u_2, u_3)$  стабилизирует режимные параметры в разделившихся частях и при их соединении.

Ситуационные алгоритмы  $u_4^{(1)}$ ,  $u_4^{(2)}$ ,  $(u_1, u_2, u_3)$  направлены на предотвращение развития аварии.

Содержание ситуационного алгоритма  $u_4^{(3)}$  иное: минимизировать ущерб и повысить надежность состояния энергосистемы, переведя

ее в исходное состояние или близкое к нему, которые считаются наиболее надежными априори.

Целевая функция алгоритма ( $u_1, u_2, u_3$ ) должна рассматриваться как комплексная оценка тяжести аварийной ситуации, ликвидируемой управляющими действиями  $Y_i$  и затратами на эти управляющие действия. В общем случае она определяется исходя из:

- вероятности развития аварии;
- ущерба от погашения или ограничения потребителей;
- дополнительного износа оборудования при перегрузках;
- затрат на ремонт и замену поврежденного оборудования.

Необходимым условием реализации ситуационных алгоритмов, определяющих оптимальное управление, является задание вида целевой функции и определения ее численных значений. Так как целевая функция  $F(Y, X)$  является оценкой качества управляющих действий  $Y_i$  в ситуации  $X_i$ , она должна:

учитывать «стоимость» управляющих действий, вследствие чего программа-советчик должна рекомендовать минимально необходимый объем управляющих действий для ликвидации аварийной ситуации;

рекомендовать только достаточно эффективные управляющие действия;

допускать разрешенные перегрузки контролируемых параметров режима в случае низкой эффективности управляющих действий или их высокой «стоимости»;

давать рекомендации по управлению даже в тех случаях, когда решения задачи полной ликвидации всех аварийных отклонений не существует;

иметь по возможности простой вид так, чтобы для решения полученной оптимизационной задачи мог быть разработан эффективный алгоритм решения.

Понятие «стоимости» управляющих действий в данном случае определяется характеристиками управляющих элементов. Для задач ликвидации аварийных режимов – это маневренные характеристики станций, надежность работы оборудования, категоричность потребителей электрической и тепловой энергии и др.

Степень аварийности будем характеризовать численным показателем  $G(X)$  – штрафом за аварийные отклонения контролируемых параметров.

Таким образом, любое управляющее действие  $Y$  обобщенно оценивается двумя показателями -  $C(X)$ ,  $G(X)$ . Решение о том, можно ли оставить некоторые отклонения контролируемых параметров  $X$  от номинальных значений, принимается из соотношения величин изменения «штрафа»  $G(X)$  и «стоимости» управляющих действий  $C(X)$ , что обосновывает возможность представления общей целевой функции в виде

$$F(Y, X) = C(Y) + G(X).$$

Определение численных значений параметров целевой функции, к которой предъявлены столь разнообразные, специфические и ответственные требования, может быть выполнено только экспертным путем, который отражает практический опыт управления энергосистемами высококвалифицированными специалистами. Этот опыт вводится в целевую функцию посредством соответствующего выбора численных значений коэффициентов, определяющих приоритеты использования основных типов управляющих действий для ликвидации отклонений контролируемых параметров от допустимых. В соответствии с ситуационным подходом приоритеты выбора управляющих действий должны определяться вне темпа процесса управления, так как являются характеристиками метода управления.

Математическая задача определения управляющих действий для ликвидации аварийных отклонений основных параметров режима энергосистемы поставлена в виде

$$\min F(Y, X) = 0; \tag{10.5}$$

$$H(Y, X) = 0; \tag{10.6}$$

$$Y^{\min} \leq Y \leq Y^{\max} \tag{10.7}$$

$$X^{\min} \leq X \leq X^{\max} \tag{10.8}$$

В основе уравнений (10.6), связывающих значения контролируемых переменных  $X$  с изменениями управляемых переменных  $Y$ , лежат уравнения установившихся режимов.

Вектор состояния энергосистемы  $V$  однозначно определяет ее состояние при заданных значениях управляемых переменных  $Y$ . При этом уравнения установившихся режимов в общем случае записываются следующим образом:

$$W(V, Y) = 0. \quad (10.9)$$

Вектор состояния  $V$  позволяет вычислять значения всех контролируемых параметров  $X$ , зная значения управляемых переменных  $Y$

$$X = R(V, Y). \quad (10.10)$$

Сформулированная математическая оптимизационная задача представляет собой задачу линейного сепарабельного программирования. Разработан эффективный метод ее решения.

Включение в число управляемых переменных проводимости элементов схем позволит управлять режимом путем изменения структуры сети, что может иногда являться эффективным приемом. Математически задача ставится более привлекательной. Решение ее ведется методом целочисленного программирования при нелинейных уравнениях режима.

Несмотря на то, что предложенные ситуационные алгоритмы охватывают значительный класс аварийных состояний энергосистем, возможно расширение класса аварийных состояний и, следовательно, построение новых сопутствующих им ситуационных алгоритмов.

Ситуационные алгоритмы математически представляют собой систему постулатов некоторой теории (ситуационного управления). При этом возникает и проблема: для каждой данной системы постулатов встает вопрос, является ли она внутренне непротиворечивой, т.е. не может ли оказаться, что из этой системы выводятся теоремы, противоречащие друг другу. Это – знаменитая теорема Геделя о неполноте формальной арифметики. Теорема Геделя о неполноте в кибернетике трак-

туется как невозможность создания автоматического устройства, решающего все возникающие задачи конкретной области управления, оставаясь в самой области правил. Иначе говоря, имея ситуационные алгоритмы управления, их параллельно-последовательное выполнение может приводить как к утверждениям истинным, так и к ложным, т.е. вести к цели и наоборот. Развитие теории показало, что непротиворечивость теории может быть доказана, но при этом необходимо использовать постулаты и методы, выходящие за рамки рассматриваемой теории. Данное положение вполне четко определяет структуру построения математического обеспечения советчика диспетчера. Ситуационные алгоритмы должны управляться стратегией, которая не может быть внутренним свойством открытой системы, каковой является энергосистема. Стратегия должна представлять собой внешнее содержательное знание не только о целях, но и о налагаемых ограничениях функционирования системы на заданном интервале времени. Цели обычно сохраняют достаточную устойчивость, в то время как ограничения, как правило, являются варьируемыми величинами, отражающими оптимальную реакцию системы на изменяемые внешние условия.

## Литература

1. Гнеденко В.В., Беляев Ю.Н, Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.: Наука, 1965.
2. Никифоров Г.С. Надежность профессиональной деятельности. - СПб.: Издание С.-Петербургского университета, 1996.
3. Меркурьев Г.В., Окин А.А. Составление вахт диспетчерского персонала энергосистем. М.: Электрические станции, 1990, №6.
4. Кокс Д., Смит П. Теория очередей. - М.: Мир, 1969.
5. Меркурьев Г.В., Окин А.А. Предельная загрузка диспетчерского персонала энергосистем. М.: Электрические станции, 1989, №6.
6. Методические указания по проведению деловых игр по курсу: «Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами» (сост. Михальченко А.П., Меркурьев Г.В., Третьяков В.П.) -М.: ВИПКэнерго.1987.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей 15-е издание. -М.: Энергоатомиздат, 1995.
8. Правила проведения противоаварийных тренировок персонала электрических станций и сетей Минэнерго СССР РД34.12.201-88.-М.: СПП Союзтехэнерго, 1989.
9. Дьяков А.Ф., Лековец И.Е., Меркурьев Г.В., Щербаков А.Д. Оценка противоаварийных тренировок оперативно-диспетчерского персонала энергосистем. - М.: Электрические станции, 1997, №2.
10. Меркурьев Г.В. Поситуационное программированное управление энергосистемой. - М.: Электрические станции, 1968, №12.
11. Гисин Б.С., Жак А.В., Меркурьев Г.В., Окин А.А. Автоматизация принятия решений по оперативно-диспетчерскому управлению энергообъединениями в аварийных режимах. М.: Известия АН СССР, Энергетика и транспорт, 1989, №6.

**Г.В.Меркурьев**

**Оперативно-диспетчерское  
управление энергосистемами**

**Методическое пособие**

Издание Центра подготовки кадров энергетики, 194223, Санкт-Петербург, а/я 44.  
Тираж 1000 экз.