

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

С.Г. Данилюк, В.В. Турлаев

Актуальность совершенствования системы допуска операторов к эксплуатации физико-энергетических установок. Завершающим этапом при производстве и одним из важнейших этапов при разработке и эксплуатации физико-энергетических установок (ФЭУ) является контроль их технического состояния. Система технического диагностирования (СТД) ФЭУ представляет собой подсистему автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим процессом (ТП) производства ФЭУ и является системой, в которой операторам отведена роль не столько пассивных наблюдателей, сколько активных исследователей функциональных свойств ФЭУ. В случае неудовлетворительных результатов контроля технического состояния ФЭУ возникает задача поиска и устранения неисправностей в системе АСК – ФЭУ. При этом роль оператора и влияние его характеристик на ход и результат процесса диагностирования ФЭУ существенно возрастает. Объективные данные свидетельствуют, что число аварий в опасных сферах деятельности по причине ошибок человека составляет до 80% от всех причин. Из-за неточного учета психологических, психофизиологических, антропометрических и других возможностей человека в конструкции систем управления происходит 30 – 40% всех ошибок человека в авиации, более 60% тяжелых транспортных происшествий, более 50% аварий в энергосистемах [4].

Причинами неправомерных (несоответствующих текущей ситуации, сложившейся в процессе функционирования СТД ФЭУ) действий персонала являются неправильность (ошибочность) или несвоевременность выполнения операций, требуемых в текущей (сложившейся на момент необходимого вмешательства оператора) ситуации. Подобные ситуации будем рассматривать как функциональные операционные отказы. Оставаясь в рамках принятой

методологии контроля и диагностирования, закономерно считать причиной функциональных операционных отказов недостаточные знания или навыки исполнителей (операторов), реализующих процесс технического диагностирования. Это означает, что как продукт системы подготовки к их профессиональной деятельности они имеют дефекты, т.е. отдельные несоответствия установленным требованиям к качеству их подготовки как специалистов [1].

Таким образом, с учетом вышеизложенного актуальным направлением обеспечения безопасности эксплуатации ФЭУ является допуск персонала функционально готового к выполнению работ со столь ответственными объектами как ФЭУ.

Структура и содержание процедуры допуска операторов к эксплуатации физико-энергетических установок. Рассмотрим общую структуру процедуры допуска операторов к выполнению работ по эксплуатации ФЭУ. Обязательным этапом является этап обучения (подготовки), на котором оператор приобретает профессионально значимые качества, впоследствии позволяющие ему реализовать себя как специалиста при работе с ФЭУ. По завершении этого этапа осуществляется контроль готовности оператора по определенным заранее показателям тестирования, и по его результатам принимается решение о готовности (допуск) или неготовности (не допуск) оператора к выполнению работ с ФЭУ. При не допуске назначается период для дополнительной подготовки с последующим повторным тестированием.

Постановка задачи оценки достоверности допуска операторов к эксплуатации физико-энергетических установок. Очевидно, что при подобном подходе возможны нежелательные ситуации, обусловленные ошибочными решениями: во-первых, функционально не готовый к выполнению должностных обязанностей оператор может быть допущен к решению задач профессиональной деятельности; во-вторых, функционально готовый к выполнению должностных обязанностей оператор может быть не

допущен к решению задач профессиональной деятельности и отправлен на дополнительную подготовку. Отмеченные решения приводят к необоснованным затратам, связанным с вероятным ущербом в следствии некомпетентного выполнения работ по эксплуатации ФЭУ (первый случай) и неоправданным «дообучением» и «простоем» уже готового специалиста.

Таким образом, одним из важнейших аспектов функционирования системы допуска является вопрос оценки достоверности его процедуры. Следовательно, необходимо для принятой системы допуска операторов к выполнению работ с ФЭУ разработать процедуру, характеризующую качество ее функционирования.

Рассмотрим оператора, прошедшего этап подготовки (обучения), как некоторый объект контроля. При функциональном подходе (внутренняя структура объекта неизвестна или не имеет значения) в ходе тестирования оператор преобразует исходную информацию, заданную в условиях предлагаемых задач, в решения (задачи теоретического характера) и действия (задачи практического характера). Следовательно, функциональная готовность (операционное состояние оператора в период тестирования) внешне наблюдаема посредством того, как он решает отмеченные задачи, которые по своему характеру и содержанию аналогичны задачам его профессиональной деятельности. Тогда можно обоснованно исходить из того, что система допуска по своей сути является системой двухальтернативного контроля функциональной готовности оператора к профессиональной деятельности по эксплуатации ФЭУ. С учетом всего вышеизложенного для оценки качества системы допуска целесообразно использовать показатель достоверности.

Схема, основные понятия и аналитические соотношения оценки достоверности допуска операторов к эксплуатации физико-энергетических установок. В теории контроля [2] под достоверностью понимается степень объективности отражения результатами контроля истинного состояния контролируемого объекта. Существует достаточно много различных показателей в той или иной степени отражающих это качество системы

контроля. Принимая во внимание серьезность последствий неправильного допуска операторов к эксплуатации ФЭУ, а соответственно важность правильности их допуска, будем понимать здесь под достоверностью математическое ожидание апостериорной вероятности правильных решений о допуске и недопуске.

Рассмотрим схему принятия решений о допуске операторов к работам с ФЭУ по результатам оценки их функциональной готовности к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности (рис. 1).

Прошедший подготовку и подвергаемый процедуре тестирования оператор с вероятностью $P_{ФГ}$ функционально готов, а с вероятностью $P_{ФН}$ функционально не готов к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности. При этом:

$$P_{ФГ} + P_{ФН} = 1 \quad (1)$$

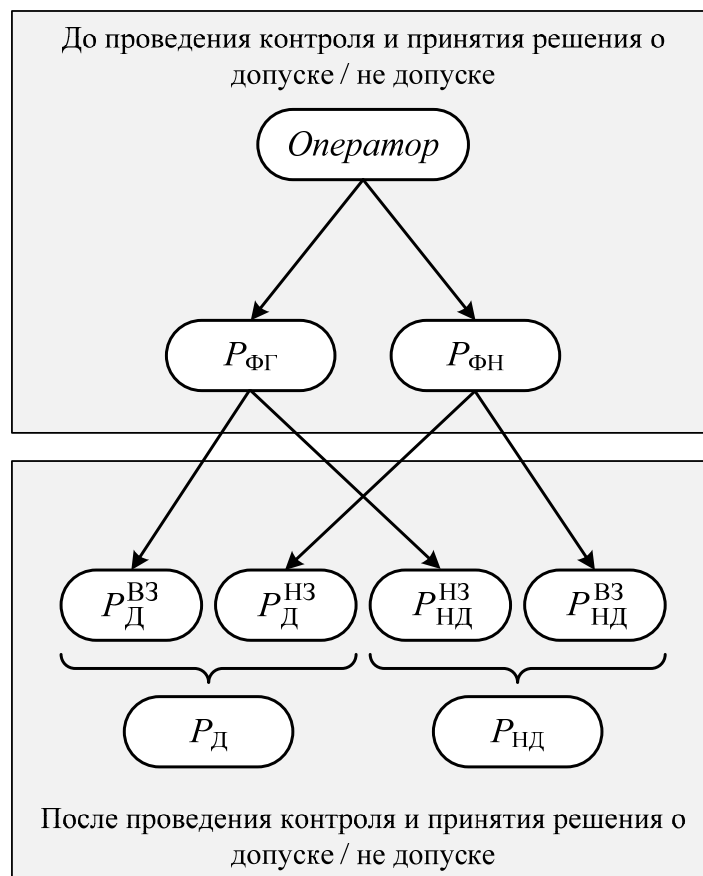


Рис. 1. Схема двухальтернативной процедуры принятия решений при допуске операторов к эксплуатации ФЭУ

По результатам тестирования могут быть приняты два следующих решения: с вероятностью $P_{\text{д}}$ о допуске, а с вероятностью $P_{\text{нд}}$ о не допуске к выполнению должностных обязанностей по эксплуатации ФЭУ. При этом:

$$P_{\text{д}} + P_{\text{нд}} = 1. \quad (2)$$

В ходе реализации процедуры допуска возможны четыре различные ситуации (см. рис. 1).

Две из четырех ситуаций определяются верными решениями при контроле функциональной готовности оператора:

1) верное решение о допуске, когда оператор функционально готов и по результатам тестирования допускается к выполнению должностных обязанностей по эксплуатации ФЭУ (вероятность ситуации – $P_{\text{д}}^{\text{ВЗ}}$);

2) верное решение о не допуске, когда оператор функционально не готов и по результатам тестирования не допускается к выполнению должностных обязанностей по эксплуатации ФЭУ (вероятность ситуации – $P_{\text{нд}}^{\text{ВЗ}}$).

И две из четырех – нежелательные ситуации, которые определяются ошибочными решениями при контроле функциональной готовности оператора:

1) «ошибочный недопуск», т.е. не верное решение о недопуске, когда оператор функционально готов, но по результатам тестирования не допускается к выполнению должностных обязанностей по эксплуатации ФЭУ (вероятность ситуации – $P_{\text{нд}}^{\text{НЗ}}$);

2) «ошибочный допуск», т.е. не верное решение о допуске, когда оператор функционально не готов, но по результатам тестирования допускается к выполнению должностных обязанностей по эксплуатации ФЭУ (вероятность ситуации – $P_{\text{д}}^{\text{НЗ}}$).

На основании схемы, представленной на рисунке 1, можно записать следующие соотношения:

$$P_{\text{д}}^{\text{ВЗ}} + P_{\text{нд}}^{\text{ВЗ}} + P_{\text{д}}^{\text{НЗ}} + P_{\text{нд}}^{\text{НЗ}} = 1. \quad (3)$$

$$P_{\text{д}}^{\text{ВЗ}} + P_{\text{д}}^{\text{НЗ}} = P_{\text{д}}. \quad (4)$$

$$P_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}} + P_{\text{НД}}^{\text{НЗ}} = P_{\text{НД}}. \quad (5)$$

Выше отмечалось, что в качестве достоверности целесообразно выбрать математическое ожидание апостериорной вероятности верных решений, т.е.

$$D = M[P(\Phi_i/D_i)] = P_{\text{ФГ}} P(\text{ФГ}/D) + P_{\text{ФН}} P(\text{ФН}/\text{НД}), \quad (6)$$

где $P(\text{ФГ}/D)$ – апостериорная вероятность функциональной готовности оператора, полученная с учетом результатов тестирования и принятия решения о допуске оператора к эксплуатации ФЭУ, $P(\text{ФН}/\text{НД})$ – апостериорная вероятность функциональной не готовности оператора, полученная с учетом результатов тестирования и принятия решения о не допуске оператора к эксплуатации ФЭУ.

При определении апостериорной вероятности функциональной готовности оператора $P(\text{ФГ}/D)$ будем исходить из того, что указанная вероятность характеризуют качество системы допуска как системы контроля обеспечивающей в общем числе допущенных операторов определенную долю функционально подготовленных для эксплуатации ФЭУ. Поэтому

$$P(\text{ФГ}/D) = \frac{P_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}}}{P_{\text{Д}}}. \quad (7)$$

Аналогичным образом при определении апостериорной вероятности функциональной неготовности оператора $P(\text{ФН}/\text{НД})$ будем исходить из того, что указанная вероятность характеризуют качество системы допуска как системы контроля обеспечивающей в общем числе недопущенных операторов определенную долю функционально неподготовленных для эксплуатации ФЭУ. Поэтому

$$P(\text{ФН}/\text{НД}) = \frac{P_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}}}{P_{\text{НД}}}. \quad (8)$$

На основании формулы Байеса выражения (7) и (8) могут быть уточнены следующим образом:

$$P(\Phi\Gamma/\Delta) = \frac{P_{\Delta}^{B3}}{P_{\Delta}} = \frac{P_{\Phi\Gamma} P(\Delta/\Phi\Gamma)}{P_{\Phi\Gamma} P(\Delta/\Phi\Gamma) + P_{\Phi\text{H}} P(\Delta/\Phi\text{H})}, \quad (9)$$

где $P(\Delta/\Phi\Gamma)$ – вероятность допуска оператора к эксплуатации ФЭУ при условии его функциональной готовности к этому, $P(\Delta/\Phi\text{H})$ – вероятность допуска оператора к эксплуатации ФЭУ при условии его функциональной неготовности к этому,

$$P(\Phi\text{H}/\text{H}\Delta) = \frac{P_{\text{H}\Delta}^{B3}}{P_{\text{H}\Delta}} = \frac{P_{\Phi\text{H}} P(\text{H}\Delta/\Phi\text{H})}{P_{\Phi\Gamma} P(\text{H}\Delta/\Phi\Gamma) + P_{\Phi\text{H}} P(\text{H}\Delta/\Phi\text{H})}, \quad (10)$$

где $P(\text{H}\Delta/\Phi\text{H})$ – вероятность недопуска оператора к эксплуатации ФЭУ при условии его функциональной неготовности к этому, $P(\text{H}\Delta/\Phi\Gamma)$ – вероятность недопуска оператора к эксплуатации ФЭУ при условии его функциональной готовности к этому.

На основании формул (6), (9) и (10) может быть получена оценка достоверности допуска оператора, но при этом необходимо решить задачу вычисления значений всех вероятностей, которые входят в правые части выражений (9) и (10).

Рассмотрим процесс допуска операторов к эксплуатации ФЭУ (рис. 2).

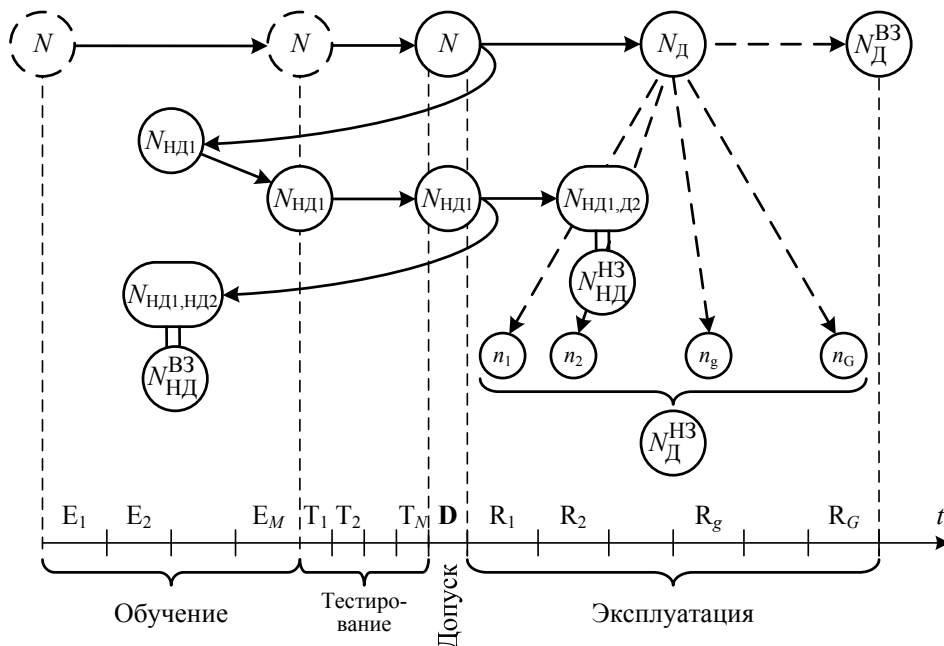


Рис. 2. Граф-схема интерпретации статистических данных, характеризующих организацию допуска операторов к эксплуатации ФЭУ

Процесс допуска операторов к эксплуатации ФЭУ включает следующие этапы:

1) этап подготовки (обучения) – $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m, \dots, E_M\}$, включающий M тем (разделов, направлений) обучения;

2) этап тестирования – $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_N\}$, включающий N тестовых заданий;

3) этап анализа результатов тестирования и принятия решения о допуске или не допуске оператора к эксплуатации ФЭУ– D ;

4) этап эксплуатации ФЭУ– $R = \{R_1, R_2, \dots, R_g, \dots, R_G\}$, включающий G отдельных периодов или направлений деятельности оператора в течении срока допуска к эксплуатации ФЭУ.

Введем следующие обозначения:

$N_{ФГ}$ – число операторов, функционально готовых к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

$N_{ФН}$ – число операторов, функционально не готовых к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

N_D – число операторов, допущенных на основании принятой процедуры допуска к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

$N_{НД}$ – число операторов, не допущенных на основании принятой процедуры допуска к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

N_D^{B3} – число операторов, в отношении которых на основании принятой процедуры принято верное заключение о допуске к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

$N_{НД}^{B3}$ – число операторов, в отношении которых на основании принятой процедуры принято верное заключение о недопуске к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

$N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}$ – число операторов, в отношении которых на основании принятой процедуры принято неверное заключение о допуске к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности;

$N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}$ – число операторов, в отношении которых на основании принятой процедуры принято неверное заключение о недопуске к выполнению должностных обязанностей и решению задач профессиональной деятельности.

Из рисунка 2 могут быть определены следующие отношения:

1) число верно допущенных $N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}}$ соответствует числу операторов, которые согласно результатам тестирования по окончании основного обучения были допущены к эксплуатации ФЭУ и в течении периода допуска не совершили ни одной функционально значимой ошибки, т.е. не были отстранены от эксплуатации ФЭУ;

2) число верно не допущенных $N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}}$ соответствует числу операторов, которые согласно результатам тестирования по окончании основного обучения были не допущены к эксплуатации ФЭУ, прошли дополнительное обучение (доподготовку) и при повторном тестировании вновь были не допущены от эксплуатации ФЭУ, т.е. – это число дважды подряд не допущенных к эксплуатации ФЭУ операторов;

3) число не верно допущенных $N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}$ соответствует числу операторов, которые согласно результатам тестирования по окончании основного обучения были допущены к эксплуатации ФЭУ и в течении периода допуска совершили функционально значимую ошибку, за что были отстранены от эксплуатации ФЭУ, т.е. – это число отстраненных от эксплуатации ФЭУ операторов за период допуска из числа допущенных с первого раза тестирования;

4) число не верно не допущенных $N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}$ соответствует числу операторов, которые согласно результатам тестирования по окончании основного обучения были не допущены к эксплуатации ФЭУ, но прошли дополнительное

обучение (доподготовку) и при повторном тестировании были допущены к эксплуатации ФЭУ.

С учетом изложенного выше может быть предложен следующий порядок для оценки необходимых вероятностных характеристик на основании статистических данных: N , $N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}}$, $N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}}$, $N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}$, $N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}$.

1. Определение числа функционально готовых операторов:

$$N_{\text{ФГ}} = N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}. \quad (11)$$

2. Определение априорной вероятности функциональной готовности оператора:

$$P_{\text{ФГ}} = \frac{N_{\text{ФГ}}}{N}. \quad (12)$$

3. Определение числа функционально не готовых операторов:

$$N_{\text{ФН}} = N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}. \quad (13)$$

4. Определение априорной вероятности функциональной не готовности оператора:

$$P_{\text{ФН}} = \frac{N_{\text{ФН}}}{N}. \quad (14)$$

5. Определение условных вероятностей:

$$P(\text{Д}/\text{ФГ}) = \frac{N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}}}{N_{\text{ФГ}}} = \frac{N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}}}{N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}}, \quad (15)$$

$$P(\text{НД}/\text{ФН}) = \frac{N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}}}{N_{\text{ФН}}} = \frac{N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}}}{N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}}, \quad (16)$$

$$P(\text{НД}/\text{ФГ}) = \frac{N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}}{N_{\text{ФГ}}} = \frac{N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}}{N_{\text{Д}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{НД}}^{\text{НЗ}}}, \quad (17)$$

$$P(\text{Д}/\text{ФН}) = \frac{N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}}{N_{\text{ФН}}} = \frac{N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}}{N_{\text{НД}}^{\text{ВЗ}} + N_{\text{Д}}^{\text{НЗ}}}. \quad (18)$$

6. Определение апостериорной вероятности функциональной готовности оператора:

$$P(\Phi\Gamma/\Delta) = \frac{P_{\Delta}^{B3}}{P_{\Delta}} = \frac{P_{\Phi\Gamma}P(\Delta/\Phi\Gamma)}{P_{\Phi\Gamma}P(\Delta/\Phi\Gamma) + P_{\Phi\text{H}}P(\Delta/\Phi\text{H})}, \quad (19)$$

7. Определение апостериорной вероятности функциональной не готовности оператора:

$$P(\Phi\text{H}/\text{H}\Delta) = \frac{P_{\text{H}\Delta}^{B3}}{P_{\text{H}\Delta}} = \frac{P_{\Phi\text{H}}P(\text{H}\Delta/\Phi\text{H})}{P_{\Phi\Gamma}P(\text{H}\Delta/\Phi\Gamma) + P_{\Phi\text{H}}P(\text{H}\Delta/\Phi\text{H})}, \quad (20)$$

8. Определение достоверности процедуры допуска оператора:

$$D = P_{\Phi\Gamma}P(\Phi\Gamma/\Delta) + P_{\Phi\text{H}}P(\Phi\text{H}/\text{H}\Delta). \quad (21)$$

Показатель эффективности процедуры допуска в форме достоверности характеризует функциональную эффективность процесса допуска и имеет особенно важное значение при допуске к объектам, ошибки при эксплуатации которых ведут к значительным последствиям. Такой подход к оценке эффективности процедуры допуска операторов к эксплуатации ФЭУ оправдан тем, что результат тестирования и допуска обязывает операторов реализовать возложенные на них функции и выполнить свое целевое предназначение. Поэтому допуск к эксплуатации объекта оператора, ошибочно признанного функционально пригодным, – ситуация «ошибочный допуск» создает предпосылки для невыполнения им функциональных задач при эксплуатации ФЭУ. Другая нежелательная ситуация, когда функционально готовый оператор по результатам реализации процедуры допуска ошибочно не допускается к эксплуатации ФЭУ – это ситуация «ошибочный недопуск». В этом случае оператор подвергается дополнительному обучению (подготовке) и повторному тестированию на предмет допуска. При этом параллельно организуются работы по замене выведенного из эксплуатации оператора дублером. Проводимые организационно-технические мероприятия требуют временных и материальных затрат. В любом случае ошибочные решения крайне нежелательны, поскольку имеют негативное проявление.

Литература

1. ГОСТ 15467. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1979. 38 с.
2. ГОСТ 20911.89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 13 с.
3. ГОСТ 27.002.83. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1983. 30 с.
4. Фокин Ю.Г. Оператор-технические средства: обеспечение надежности. М.: Воениздат, 1985. 192 с.