

УДК 159.98:62+621.311.22-057.86:159.9

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Дмитриев П.И.

Министерство энергетики Республики Беларусь

В статье рассматривается проблема обеспечения надежности функционирования объектов электроэнергетических систем с учетом человеческого фактора.

Исследование надежности профессиональной деятельности операторов электростанций опирается на концепции психического отражения и деятельностного подхода при изучении психических процессов.

В статье описан алгоритм определения надежности профессиональной деятельности операторов электростанций, разработанный автором на основе вышеуказанных концепций.

Приведены результаты экспериментального исследования по выявлению уровней надежности профессиональной деятельности операторов (старших машинистов котельного отделения и машинистов Центрального теплового щита управления котлами котлотурбинного цеха), которое было проведено на базе Могилевской ТЭЦ-2.

Установлена положительная корреляционная связь между надежностью профессиональной деятельности операторов электростанций и такими важнейшими составляющими их эффективной оперативной деятельности, как внимание, оперативное и логическое мышление.

Предлагаются конкретные меры, направленные на повышение надежности профессиональной деятельности операторов электростанций.

Статья рекомендуется руководителям и специалистам энергосистемы Республики Беларусь, занимающимся вопросами подготовки персонала, обеспечивающего функционирование электростанций, а также специалистам других отраслей, имеющим отношение к опасным профессиям.

(Поступила в редакцию 12 декабря 2008 г.)

Активное участие человека в процессах развития и функционирования объектов электроэнергетических систем потребовало в настоящее время разработки вопросов обеспечения надежности этих объектов с учетом человеческого фактора.

Анализ отказов оборудования электростанций, произошедших за период с 1992 по 2007 г. в Беларуси, показывает, что за это время всего произошло 11 354 отказа, в том числе 744 (6,5 %) по вине персонала.

Из общего числа отказов 1817 – отказы оборудования на основных электростанциях высокого давления (Лукомльская ГРЭС, Березовская ГРЭС, Минская ТЭЦ-4, Гомельская ТЭЦ-2, Новополоцкая ТЭЦ, Минская ТЭЦ-3, Могилевская ТЭЦ-2, Минская ТЭЦ-5, Светлогорская ТЭЦ, Мозырская ТЭЦ, Бобруйская ТЭЦ-2, Гродненская ТЭЦ-2), из них 329 отказов (18 %) произошло по вине персонала [1].

Это говорит о том, что надежность функционирования электростанций, которые являются ключевым элементом электроэнергетических систем, достигается как надежностью работы оборудования, так и надежностью профессиональной деятельности человека-оператора.

Как отмечал академик А.И. Берг, проблема надежности человека-оператора в системах управления стала проблемой номер один [2].

В инженерной психологии принято оценивать надежность работы оперативного персонала по комплексу его внутренних свойств, обуславливающих способность оператора

сохранять на заданном уровне показатели труда и поддерживать требуемые рабочие качества в условиях существенного усложнения деятельности [3].

В основу исследования надежности профессиональной деятельности операторов электростанций положены две фундаментальные психологические концепции: концепция психического отражения и концепция деятельностного подхода к изучению психических процессов. Это предполагает, что вся совокупность психических явлений представляет собой систему различных форм и уровней субъективного отражения человеком объективной действительности.

Любая форма отражения формируется и проявляется в целенаправленной предметной деятельности субъекта.

Анализ особенностей психического отражения невозможен иначе как на основе отражения деятельности. Именно деятельность осуществляет связи субъекта с предметным миром, который отражается в его сознании [4].

Важным свойством психического отражения в живой природе является его опережающий характер [5].

Результатом процесса психического отражения является образ.

Психический образ есть отражение объективной реальности и одновременно важнейшее звено в системе регуляции действий человека. Формирование образа – это активный процесс.

Момент отражения оператором объекта управления и ситуация управления во всей их полноте фиксируются в понятии концептуальной модели, которое в 1961 г. предложил английский психолог А.Т. Велфорд.

Концептуальная модель рассматривается как внутреннее средство деятельности, создаваемое в процессе обучения и тренировки. Ее содержание предстает в готовом виде еще до начала конкретных действий.

Концептуальная модель – это базовый компонент структуры образного отражения, глобальный образ. Она включает в себя: жизненный опыт человека-оператора; знания, полученные при специальном обучении; сведения, поступающие в процессе управления; некоторый набор образов реальной и прогнозируемой обстановки, в которой происходит деятельность; знание совокупности возможных исполнительских действий; знание свойств объекта управления; широкое представление о задачах системы; мотивы деятельности; знание последствий правильных и ошибочных решений; готовность к нестандартным, маловероятным событиям [6].

Отображенную реальную обстановку мы называем информационной моделью, которая включает в себя данные об объекте управления, о состоянии внешней среды и самой системы. Информационная модель – это материальная форма, в которой выражена информация.

Образ-цель является идеальным или мысленно представленным конечным результатом деятельности оператора.

Образ-цель выражает отношение образа к тому результату, ради которого предпринимается деятельность. Он (также как и концептуальная модель) включает в себя: прошлый профессиональный опыт человека-оператора; представление о средствах деятельности; селекцию, интеграцию и оценку информации; формирование гипотез и принятие решения. Образ-цель должен сохраняться в течение всего времени выполнения деятельности.

Цель действия представляется человеку в виде концептуальной модели заданного состояния объекта управления. Несовпадение воспринятого с помощью информационной модели состояния процесса управления в данный момент времени с концептуальной моделью побуждает человека воздействовать на объект именно так, как того требует результат сличения образов текущего и заданного состояния.

Процессам сличения образа текущей ситуации с образом-целью принадлежит важная роль в механизме регуляции действия.

Конкретной формой реализации трудовой деятельности человека-оператора в энергосистемах является производство электрической и тепловой энергии. Основным звеном данного технологического процесса является человек-оператор, который принимает различные решения в зависимости от возникающих обстоятельств.

Например, имеется объект управления (котельный агрегат), который необходимо перевести из состояния В1 (соответствующего нарушению в его работе – повышению давления перегретого пара) в состояние В2 (соответствующее нормальному режиму его работы); на основе имеющейся в распоряжении оператора электростанции информации (в том числе и профессионального опыта) у него формируется некоторый образ задаваемого (будущего) состояния объекта управления (состояние В2); на основе сигналов, поступающих через информационные панели Центрального теплового щита управления котлами у оператора электростанции формируется текущий образ ситуации; на основе данного текущего образа ситуации оператор оценивает состояние объекта управления (состояние В1), анализирует возможные способы выполнения возникшей задачи, принимает решение и выполняет действие (или систему действий); сигналы, возникающие в результате выполненного им действия, через систему технических устройств передаются объекту управления, изменяя его состояние В1 на В2; сигналы об изменившемся состоянии объекта управления поступают оператору через информационные панели Центрального теплового щита управления котлами; оператор электростанции оценивает, решена ли задача, сравнивая текущее состояние В1 с заданным В2, и в зависимости от результата оценки выполняет новые действия (в случае необходимости), определяемые целью данного технологического процесса.

Структурная схема, в данном случае ручной системы управления, представлена на рисунке 1.

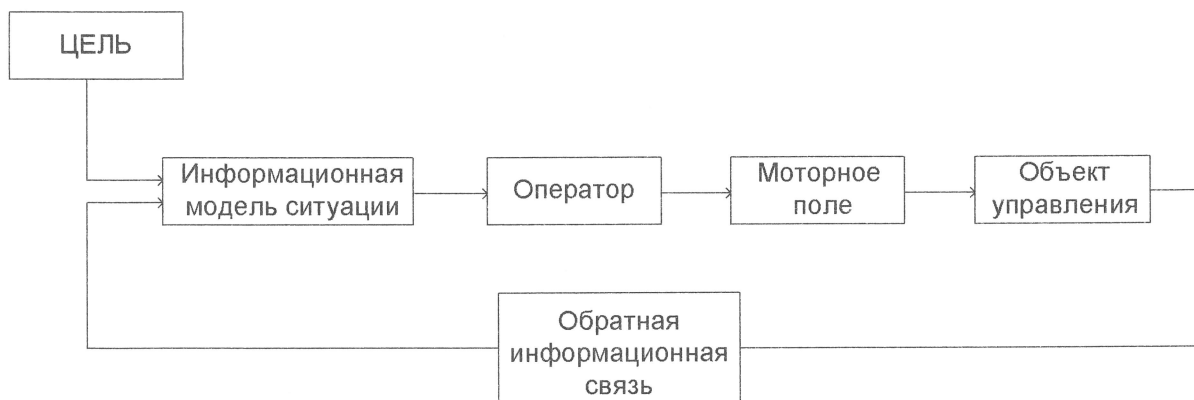


Рисунок 1 – Структурная схема ручной системы управления

Сформированный в начале деятельности образ-цель должен сохраняться памятью оператора электростанции до ее окончания, выступая в роли ведущего регулятора всей системы действий.

Информационная среда оператора электростанции включает в себя два рода сигналов:

- инструментальные, поступающие от приборов, расположенных на информационных панелях;
- неинструментальные, возникающие вследствие непосредственного воздействия на оператора электростанции изменений состояний управляемого объекта (котельного агрегата).

Текущий образ объекта управления (котельного агрегата) формируется у оператора электростанции в соответствии с информацией, идущей от работающего объекта управления и по мере ее поступления через информационные панели. Данные

информационные панели образуют информационную модель, таким образом текущий образ формируется на основе состояния информационной модели в данный момент времени.

Эталонный образ объекта управления (котельного агрегата) оказывается к моменту контроля за его состоянием у оператора электростанции полностью сформированным. Он формируется на основе концептуальной модели оператора электростанции. Концептуальная модель – это представление, возникающее в голове оператора под воздействием информации.

В контроле за состоянием объекта управления участвуют оба вида образов – текущий и эталонный.

Эффективность управления котельным агрегатом находится в прямой зависимости от качества эталонного и текущего образов.

Текущий и эталонный образы объекта управления (котельного агрегата) тесно взаимодействуют в процессе переработки информации.

На рисунке 2 представлена структурная схема принятия решения оператором электростанции по управлению котельным агрегатом.



Рисунок 2 – Структурная схема принятия решения оператором электростанции по управлению котельным агрегатом

Оператор электростанции на основе сличения текущего и эталонного образов состояния объекта управления производит оценку ситуации, принимает решение и осуществляет воздействие на объект управления посредством органов управления, которые представляет ему моторное поле.

Надежные управляющие действия оператора электростанции во многом определяются полноценностью формируемого у него психического образа.

Если после воздействия оператора электростанции на объект управления текущий и эталонный образы состояния объекта управления совпадут, то задача управления в данном случае считается выполненной.

Нами разработан алгоритм по определению надежности профессиональной деятельности операторов электростанций.

Объектом управления является котельный агрегат, функционирующий на Могилевской ТЭЦ-2, который имеет следующие параметры: производительность – 210 т/ч; давление в барабане – 156 кгс/см²; давление за главной паровой задвижкой – 140 атм; температура перегретого пара – 560 °С.

Котельный агрегат состоит из 5 основных взаимосвязанных компонентов: парового котла с топкой, пароперегревателя, воздухоподогревателя, водяного экономайзера, вспомогательных механизмов.

Управление котельным агрегатом осуществляется оперативным персоналом котлотурбинного цеха с Центрального теплового щита управления котлами.

Нами разработаны 4 информационных модели, отражающие нарушения в работе котельного агрегата:

- 1) повышение давления перегретого пара;
- 2) перепитка котла;
- 3) повышение температуры перегретого пара;
- 4) упуск уровня воды в барабане котла.

Выбор данных нарушений в работе котельного агрегата обосновывается тем, что они являются наиболее характерными ситуациями, которые возникают на электростанции.

Последствия от наличия данных нарушений в работе котельного агрегата на электростанции бывают следующими:

при повышении температуры перегретого пара длительная работа приводит к повышению температуры металла 2-й и 3-й ступеней пароперегревателя с последующим их повреждением;

при повышении давления перегретого пара работа котельного агрегата приводит к подрыву предохранительных клапанов и остановке котельного агрегата. Если не сработают предохранительные клапаны, то произойдет повреждение котельного агрегата;

при перепитке котла работа котельного агрегата приводит к забросу воды на турбину, что ведет к остановке турбины и возможному ее повреждению;

при упуске уровня воды в барабане котла происходит разрыв экранных труб. В соответствии с правилами технической эксплуатации в этом случае эксплуатация котельного агрегата запрещена.

По экспертной оценке специалистов вышеуказанные нарушения в работе котельного агрегата по уровню сложности распределены таким образом (таблица):

№ п/п	Нарушения в работе котельного агрегата	
	тип нарушения	уровень сложности
1	Повышение температуры перегретого пара	Низкий
2	Повышение давления перегретого пара	Средний
3	Перепитка котла	Высокий
4	Упуск уровня воды в барабане котла	Высокий

По каждому из вышеуказанных нарушений в работе котельного агрегата нами разработаны с участием специалистов Могилевской ТЭЦ-2, имеющими стаж работы на электростанциях от 10 до 30 лет, эталонные алгоритмы действий оперативного

персонала ТЭЦ (старших машинистов котельного оборудования, машинистов Центрального теплового щита управления котлами котельного отделения котлотурбинного цеха) по восстановлению нормального режима его работы.

Оператору электростанции последовательно предъявляется отдельно каждая из информационных моделей, отражающая предлагаемые режимы нарушений в работе котельного агрегата. На основе этих информационных моделей у оператора формируется текущий образ каждой конкретной ситуации, возникающей при управлении котельным агрегатом.

Эталонный образ объекта управления (котельного агрегата), соответствующий нормальному режиму его работы, оказывается у оператора к моменту контроля за его состоянием полностью сформированным.

Оператор сличает текущий образ, характеризующий определенное нарушение в работе котельного агрегата с эталонным образом, принимает решение и формирует программу целесообразных действий по устранению этого нарушения.

Последовательность действий, выполняемых оператором, регистрируется экспериментатором.

Далее сличается эталонный алгоритм необходимых действий с реальным алгоритмом действий оператора по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата отдельно по каждому конкретному нарушению в его работе.

В результате данного сравнения экспериментатор определяет число совпадений действий оператора согласно реальному алгоритму с эталонным.

Экспериментатором регистрируются и рассчитываются:

момент времени T_1 , в который оператору предъявляется информационная модель, отражающая соответствующее нарушение в работе котельного агрегата;

момент времени T_2 , в который оператор определяет тип нарушения в работе котельного агрегата;

момент времени T_3 , в который оператор начинает воздействовать на ключи управления, расположенные на моторном поле Центрального теплового щита управления котлами;

момент времени T_4 , в который оператор завершил последовательность действий по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата;

время T_{21} , за которое оператор определяет тип нарушения в работе котельного агрегата ($T_{21} = T_2 - T_1$);

время T_{43} , затраченное оператором на восстановление нормального режима работы котельного агрегата отдельно по каждому нарушению в его работе ($T_{43} = T_4 - T_3$).

Коэффициент надежности профессиональной деятельности оператора (K_n) определяется выражением:

$$K_n = K_3 \times K_T,$$

где K_3 – коэффициент эффективности выполнения оператором действий по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата;

K_T – коэффициент затраченного оператором времени на восстановление нормального режима работы котельного агрегата.

Коэффициент эффективности (K_3) выполнения оператором действий по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата рассчитывается по формуле:

$$K_3 = N_{PE} / N_3,$$

где $N_{РЭ}$ – количество совпадений действий оператора согласно реальному алгоритму с действиями эталонного алгоритма по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата;

N_3 – общее количество действий оператора согласно эталонному алгоритму по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата по конкретному нарушению в его работе.

Коэффициент затраченного времени (K_T) оператором на восстановление нормального режима работы котельного агрегата рассчитывается по формуле:

$$K_T = T_p / T_{cp},$$

где T_p – реальное время, затраченное оператором на восстановление нормального режима работы котельного агрегата по конкретному нарушению в его работе;

T_{cp} – среднее время, затрачиваемое операторами на восстановление нормального режима работы котельного агрегата по конкретному нарушению в его работе.

Для проведения 2-го этапа экспериментального исследования по выявлению уровней надежности профессиональной деятельности оперативного персонала котельного отделения котлотурбинного цеха Могилевской ТЭЦ-2, мы использовали разработанный нами алгоритм.

В данном исследовании принимали участие операторы (старшие машинисты котельного отделения и машинисты Центрального теплового щита управления котлами) котлотурбинного цеха Могилевской ТЭЦ-2 в количестве 16 человек.

Оценка действий операторов электростанций производилась следующим образом.

Регистрировался реальный алгоритм действий операторов по каждому из предъявляемых нарушений в работе котельного агрегата (перепитка котла, повышение температуры перегретого пара, повышение давления перегретого пара, упуск уровня воды в барабане котла).

Проводилась сравнительная оценка реального алгоритма действий операторов с эталонным алгоритмом необходимых действий отдельно по каждому из нарушений в работе котла, т. е. определялось количество совпадений действий по двум условиям: совпадает номер действия и совпадает само совершаемое действие.

Определялся коэффициент эффективности (K_3) выполнения операторами электростанции действий по восстановлению нормального режима работы котельного агрегата и коэффициент затраченного времени (K_T) на восстановление нормального режима работы котла.

Фиксировалось реальное время, затраченное операторами электростанции на восстановление нормального режима работы котельного агрегата (T_p).

На основе рассчитанных (K_3) и (K_T) определялся коэффициент надежности профессиональной деятельности операторов (K_n) отдельно по каждому из 4 нарушений в работе котельного агрегата.

Полученные средние значения коэффициентов надежности профессиональной деятельности операторов котлотурбинного цеха Могилевской ТЭЦ-2 ($K_{надеж. ср}$) по всем 4 нарушениям в работе котельного агрегата мы разбили с интервалом, равным 0,26, на три группы:

1-я группа – это операторы, которые имеют высокий уровень надежности профессиональной деятельности. В эту группу вошли операторы со средними значениями коэффициентов надежности профессиональной деятельности операторов, находящихся в пределах:

$$0,74 < K_{надеж. ср} \leq 1,0.$$

В первой группе оказались 2 оператора котлотурбинного цеха, что составляет 12 % от общего числа операторов, принявших участие в данном исследовании.

2-я группа – это операторы, которые имеют средний уровень надежности профессиональной деятельности. В эту группу вошли операторы со средними значениями коэффициентов надежности профессиональной деятельности операторов, находящихся в пределах:

$$0,48 < K_{\text{надеж. ср}} < 0,74.$$

Во второй группе оказалось 8 операторов котлотурбинного цеха, что составляет 50 % от общего числа операторов, принявших участие в данном исследовании.

3-я группа – это операторы, которые имеют низкий уровень надежности профессиональной деятельности. В эту группу вошли операторы со средними значениями коэффициентов надежности профессиональной деятельности операторов, находящихся в пределах:

$$0,22 \leq K_{\text{надеж. ср}} < 0,48.$$

В третьей группе оказалось 6 операторов котлотурбинного цеха, что составляет 38 % от общего числа операторов, принявших участие в данном исследовании.

Для установления зависимости между такими важнейшими составляющими эффективной оперативной деятельности операторов, как внимание, оперативное и логическое мышление, и надежностью их профессиональной деятельности нами был произведен расчет корреляции по каждой из вышеуказанных составляющих в сравнении с надежностью их профессиональной деятельности.

Данный расчет проводился по группе операторов из 10 человек, которые принимали участие как в 1-м, так и во 2-м этапах исследования по определению уровней их надежности профессиональной деятельности (результаты 1-го этапа данного исследования описаны автором в статье [7]).

Коэффициент корреляции определялся по формуле (коэффициент Браве-Пирсона) [8]:

$$r = \frac{(\sum XY) - n\bar{X}\bar{Y}}{(n-1)S_x S_y},$$

где $\sum XY$ – сумма произведений данных из каждой пары;

n – число пар;

\bar{X} – средняя для данных переменной X ;

\bar{Y} – средняя для данных переменной Y ;

S_x – стандартное отклонение для распределения X ;

S_y – стандартное отклонение для распределения Y .

Проведенные расчеты показывают, что коэффициент корреляции, устанавливающий связь между распределением и переключением внимания и профессиональной надежностью операторов, $r=+0,42$; оперативным мышлением и профессиональной надежностью операторов $r=+0,26$; логическим мышлением и профессиональной надежностью операторов $r=+0,53$.

Таким образом, при увеличении уровня внимания у операторов увеличивается уровень их профессиональной надежности (умеренная связь); при увеличении уровня оперативного мышления у операторов увеличивается уровень их профессиональной

надежности (слабая связь); при увеличении уровня логического мышления у операторов увеличивается уровень их профессиональной надежности (умеренная связь).

Выводы

В результате проведенного 2-го этапа экспериментального исследования по выявлению уровней профессиональной надежности операторов котлотурбинного цеха Могилевской ТЭЦ-2 нами было определено, что по уровням профессиональной надежности операторы распределились следующим образом: высокий уровень имеют 12 % от общего числа участников исследования; средний и низкий уровни имеют соответственно 50 % и 38 % от общего числа участников исследования.

Установлено, что при увеличении уровня внимания, оперативного и логического мышления операторов соответственно растет уровень надежности их профессиональной деятельности.

Для повышения надежности профессиональной деятельности операторов электростанций необходимо внедрять в процесс их подготовки полномасштабные тренажеры, которые позволят развивать у них оперативное и логическое мышление, внимание.

Решение операторами конкретных задач, имитирующих различные нарушения в работе оборудования электростанций, позволит сформировать достаточно полную концептуальную модель управления этим оборудованием и соответственно повысить уровень надежности их профессиональной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ нарушений в работе оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей в 2007 году. ГПО «Белэнерго». Инспекция по эксплуатации электростанций и сетей. – Минск, 2008. – С. 69.
2. Нерсесян, А.С. Инженерная психология и проблема надежности машиниста / А.С. Нерсесян, О.А. Конопкин. – М.: Транспорт, 1978. – 239 с.
3. Зараковский, Г.М., Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
4. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии / сост. А.В. Брушлинский, К.А. Абульханова-Славская. – СПб.: Питер, 2001. – 706 с.
5. Кремень, М.А., Инженерно-психологические аспекты управления производством (для ИТР автотранспортных предприятий БССР): учеб. пособие / М.А. Кремень, Г.Ф. Манцевич. – Минск: РМ ИПК Минвуза БССР, 1987. – 101 с.
6. Завалова, Н.Д. Образ в системе психической регуляции деятельности / Н.Д. Завалова, Б.Ф. Ломов, В.А. Пономаренко. – М.: Наука, 1986. – 174 с.
7. Дмитриев, П.И. Эффективная оперативная деятельность операторов электростанций как доминирующий фактор надежной и безопасной работы / П.И. Дмитриев // Вест. Командно-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2007. – № 2(6). – С. 26–32.
8. Кремень, М.А. Математические методы в научных исследованиях: для педагогов и психологов / М.А. Кремень. – Минск.: НИО, 1998. – 92 с.