

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ
ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО
ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ
ФОРМИРОВАНИЙ**

Сосюкин А.Е., Верведа А.Б.

*Федеральное государственное унитарное предприятие
научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины*

Федерального медико-биологического агентства

196143, г. Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д.65

Телефон (812) 415-94-30 , (812) 415-94-31; факс: (812) 415-94-58

e-mail: niipmm@fmbamail.ru

Резюме: В статье предложен подход к формированию интегрального критерия оценки уровня психофизиологической адаптации персонала с использованием функции желательности Харрингтона. Приведено описание функции Харрингтона. Представлен пример оценки уровня психофизиологической адаптации на основе результатов обследования персонала аварийно-спасательных формирований. Показана целесообразность применения данного математического метода для оценки профессионального здоровья и надежности деятельности персонала.

Ключевые слова: функция желательности, психофизиологическое обследование, критерий оценки, персонал, аварийно-спасательное формирование.

**PRACTICAL ASPECTS OF USING THE DESIRABILITY FUNCTION FOR A
PSYCHOPHYSIOLOGICAL EXAMINATION OF THE PERSONNEL OF SEARCH-
AND-RESCUE DETACHMENTS**

Sosukin A.E., Verveda A.B.

Federal State Unitary Enterprise

Research Institute of Industrial and Marine Medicine

Federal Medical-Biological Agency

Abstract: This article proposes an approach to the formation of an integral criterion for assessing the level of psychophysiological adaptation of the personnel with the use of the desirability function Harrington. Describes the function of Harrington. Presents an example of assessing the level of psychophysiological adaptation based on the results of a examination of the personnel search-and-rescue detachments. The expediency of application of the mathematical method to assess occupational health and safety of the personnel.

Key words: desirability function, psychophysiological examination, evaluation criterion,

Введение

Обеспечение профессиональной надежности лиц, привлекаемых к ликвидации радиационных аварий, возможно на основе комплексного мониторинга психофизиологических свойств, профессионально важных качеств и актуального функционального состояния персонала аварийно-спасательных формирований во всех условиях деятельности.

Психофизиологическое сопровождение профессиональной деятельности персонала предполагает проведение психофизиологического обследования и многомерный анализ полученных показателей, характеризующих организм, как целостную систему. При этом каждый частный параметр анализа, применяемый в комплексной оценке, имеет свой значение и свою размерность, а при переходе к обобщенному показателю путем интеграции частных показателей возникает методологическая проблема, относящаяся к многокритериальным приемам оценки, устанавливающим приоритеты между критериями. Основной проблемы является неравноценность частных критериев, необходимость одновременного учета как количественно, так и качественно заданных показателей, что связано с наличием неопределенностей различного вида [1].

Данная проблема носит междисциплинарный характер и актуальна для медицины, психологии, экологии, социологии и целого ряда областей научно-прикладной деятельности [1-5].

Несмотря на широкое использование при проведении психофизиологического обследования компьютерных психодиагностических комплексов, в значительной части которых запрограммированы «решающие правила» получения отдельных интегральных показателей, итоговое заключение об уровне профессионального здоровья должно основываться на результатах значительно большего количества обследований, включая методы социально-психологического изучения, требующих формализации. Одним из широко используемых способов формализации является использование балльных оценок. Так в работе [6], посвященной контролю состояния специалистов опасных профессий, производится интеграция частных показателей профессионального здоровья путем вычисления среднего геометрического балльных оценок отдельных показателей. Однако к балльным оценкам, относящимся к шкале порядка (шкале рангов), многие арифметические операции, включая вычисление средних значений, не применимы [7].

В качестве способа интеграции отдельных показателей более целесообразно использовать так называемые функции принадлежности, одним из видов которых

является функция желательности Харрингтона [8].

Функция желательности удовлетворяет ряду требований, предъявляемым к параметрам интеграции или оптимизации, а именно:

- является количественным;
- единым (выражается одним числом);
- однозначным, т.е. заданному набору значений частных параметров соответствует одно значение обобщенной функции;
- универсальным, т.е. всесторонне характеризует объект;
- соответствует требованию полноты, т.е. является достаточно общим, неспецифичным, характеризует объект как единое целое [2, 3].

Цель исследования заключалась в совершенствовании критериев оценки профессиональной надежности персонала аварийно-спасательных формирований, привлекаемых к ликвидации радиационных аварий, на основе использования математических методов интеграции разнородной информации, полученной в ходе психофизиологического обследования и профессиональной деятельности спасателя.

Методы и результаты

Полученные в результате психофизиологического обследования первичные и интегральные показатели состояния организма являются основанием для вынесения заключения об уровне психофизиологической адаптации (ПФА) спасателя.

Интегральные показатели различают по степени обобщения данных обследования:

- показатели первого иерархического уровня дают формализованную оценку отдельных состояний, профессионально важных качеств после проведения методики (теста), которая может содержать несколько параметров;
- показатели второго иерархического уровня дают возможность оценить специалиста по трем группам состояний - физиологическому (ФизС), психофизиологическому (ПФизС) и психологическому (ПС);
- показатель третьего иерархического уровня отражает уровень ПФА и рассчитывается на основе интегральных показателей второго иерархического уровня.

Основой обобщения информации с использованием функции Харрингтона является преобразование натуральных значений частных параметров различной физической сущности и размерности в единую безразмерную шкалу желательности (предпочтительности). Назначение шкалы заключается в установлении соответствия между физическими и психологическими параметрами интеграции [4].

Под физическими понимаются всевозможные параметры, характеризующие функционирование исследуемого объекта. Сюда могут входить медицинские, социальные,

эстетические, статистические и другие параметры.

Под психологическими параметрами понимаются субъективные оценки исследователя желательности (предпочтительности). Психологические параметры выражаются через числовую систему на шкале желательности.

Для получения шкалы желательности удобно использовать готовые разработанные таблицы соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой (психологических) системах (таблица 1) [9].

Таблица 1 – Соответствие между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой (психологических) системах

Эмпирическая система предпочтений (желательность)	Наименование уровня эмпирической системы предпочтений	Числовая система предпочтений (система психологических параметров)
Очень хорошо	Высокий	1,00-0,80
Хорошо	Выше среднего	0,79-0,64
Удовлетворительно	Средний	0,63-0,37
Плохо	Сниженный	0,36-0,20
Очень плохо	Низкий	0,19-0,00

Числовая система предпочтений, представленная в таблице 1, является безразмерной шкалой желательности, разработанной Харрингтоном. Значения этой шкалы обозначаются через d (от desirable (фр.) - желательный) [9].

Значение i -го частного отклика, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается через d_i (i равно 1, 2, ..., n) и называется частной желательностью. Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение d_i равное 0, соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение d_i равное 1 – самому лучшему значению свойства. Значение d_i равное 0,37 обычно соответствует границе допустимых значений.

Для того, чтобы использовать данный метод с целью получения интегрального критерия, первоначально необходимо установить (задать) границы допустимых значений (y) для всех частных параметров (верхние и нижние границы нормативных значений показателей состояния организма). Ограничения могут быть односторонними (y_{min} или y_{max}) или двусторонними (y_{min} и y_{max}). При одностороннем ограничении отметке d_i равное 0,37 на шкале желательности соответствует y_{min} или y_{max} (задан нижний или верхний предел соответственно), при двустороннем ограничении – и y_{min} и y_{max} .

Графики функции желательности с односторонним и двусторонним ограничением

представлены на рисунке 1.

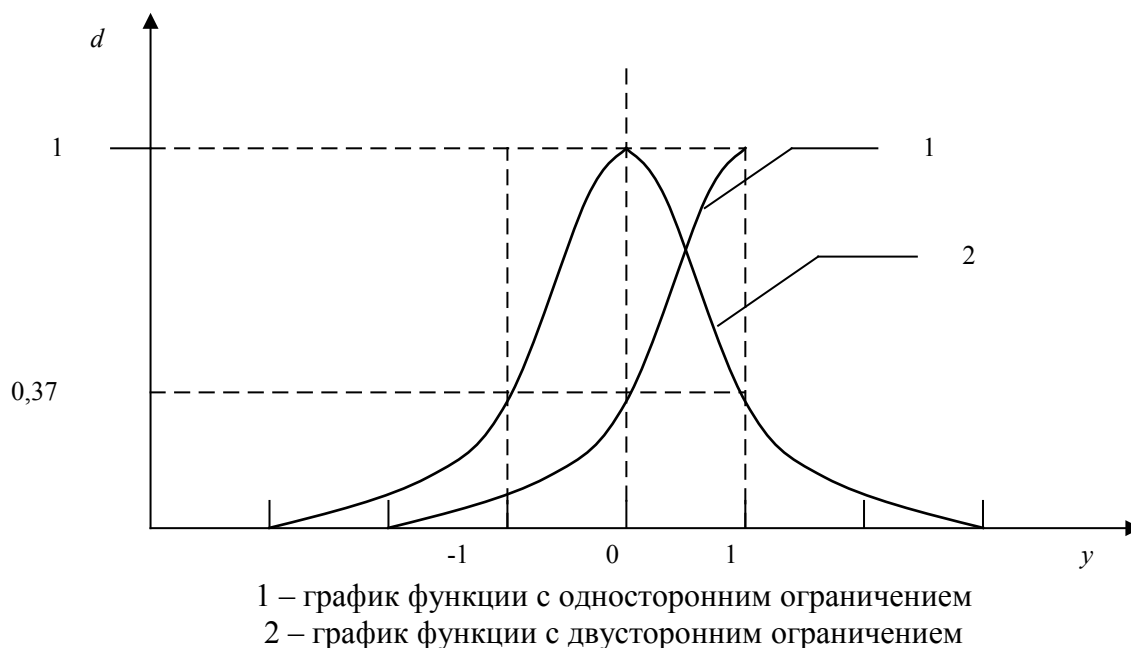


Рисунок 1 - Графики функции желательности [9]

При использовании функции желательности возможны два варианта перевода значений частного параметра в соответствующие желательности. Выбор варианта определяется видом ограничений, установленных для данного свойства.

Если эти ограничения односторонние, т.е. имеют вид y меньше y_{max} или y больше y_{min} , то функция желательности, соответствующая шкале желательности Харрингтона для одностороннего ограничения d^1 , отн. ед., выражается уравнением:

$$d^1 = e^{-e^{-(y')}} \quad (1)$$

где y' - кодированное значение частного параметра y , т.е. его значение в условном масштабе (промежуточное значение параметра y при переводе в желательность).

Примером показателя, для которого строится функции желательности с односторонним ограничением, является время простой сенсомоторной реакции – чем меньше время реакции, тем значение показателя d^1 больше.

Если ограничения двусторонние, т.е. имеют вид y и больше y_{min} и больше y_{max} , то функция желательности, соответствующая шкале желательности Харрингтона для двустороннего ограничения d^2 , отн. ед., задается уравнением:

$$d^2 = e^{-|y'|^n}, \quad (2)$$

где y' - кодированное значение частного параметра y ;
 n - показатель степени.

Примером показателя, для которого строится функции желательности с двусторонним ограничением, является величина артериального давления – ее оптимальные значения лежат в определенном диапазоне, а повышение или понижение значений относительно оптимума приводят к снижению показателя d^2 .

После того, как все частные параметры (y_i) переведены в свои желательности (d_i) приступают к построению обобщенного параметра интеграции, названного Харрингтоном обобщенной функцией желательности D . Одним из способов решения задачи интеграции является представление обобщенной функции желательности D , отн. ед., как среднее геометрическое частных желательностей:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \times d_2 \times \dots \times d_i \times \dots \times d_n} \quad (3)$$

Обобщенный показатель данного вида позволяет использовать ту же шкалу предпочтительности (таблица 1).

Очевидно, что, если хотя бы одна из частных желательностей равна «0», то и обобщенный показатель будет равен «0». В ситуации приближения величины частной желательности к «0» для исключения возможности «обнуления» обобщенного показателя (интегрального показателя) данной частной желательности допустимо условно присваивать значение «0,01».

При применении функции желательности, представленной формулой (1), перевод размерных (натуральных) показателей (x) в безразмерные (y) при линейной зависимости между ними производят по формуле:

$$y = a_0 + x \times a_1, \quad (4)$$

где a_0 и a_1 - коэффициенты линейной функции.

Прологарифмировав дважды уравнение (1), получаем:

$$\ln(1/\ln(1/d_i)) = -y, \quad (5)$$

Подставляя значения y в уравнение (4), получаем:

$$a_0 + a_1 \times x = \ln(1/\ln(1/d_i)) \quad (6)$$

Составляем систему уравнений для известных значений:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 \times x_1 = \ln(1/\ln(1/d_1)) \\ a_0 + a_1 \times x_2 = \ln(1/\ln(1/d_2)) \end{cases} \quad (7)$$

Решая совместно оба уравнения, находим значения коэффициентов a_0 и a_1 . В результате получаем уравнение линейной зависимости между исследуемым показателем и безразмерными значениями. По этому уравнению можно найти значение y для любого значения x , а далее по формуле (1) – показатель желательности.

При применении функции желательности, представленной формулой (2), кодированное значение параметра y' , отн. ед., можно определить по следующей формуле:

$$y' = (2 \times y - (y_{\max} + y_{\min})) / (y_{\max} - y_{\min}), \quad (8)$$

где y – частный параметр (значение показателя);
 $y_{\max}$ – верхняя граница допустимых значений для всех частных параметров (верхняя граница нормы);
 $y_{\min}$ – нижняя граница допустимых значений для всех частных параметров (нижняя граница нормы).

Показатель n определяют по формуле, в которую подставляют рассчитанное значение y и принятое d (обычно d задается равным 0,7):

$$n = (\ln \ln(1/d)) / (\ln|y'|), \quad (9)$$

При этом для каждого частного параметра, по которому задано двустороннее ограничение, устанавливают определенную функцию желательности вида (2) в зависимости от значения показателя n .

В качестве критериев оценки уровня отдельных психофизиологических показателей могут использоваться индивидуальные нормативы или статистически подтвержденные нормативные величины, построенные с использованием двух стандартных отклонений (SD) от среднего значения (M): $y_{\max}$ (верхняя граница нормы) – $M+2SD$ и $y_{\min}$ (нижняя граница нормы) – $M-2SD$.

Уровень ПФА спасателя определяют на основе интегральных оценок ФизС, ПФизС и ПС, полученных в ходе проведения психофизиологического обследования.

В связи с тем, что функция желательности является одним из видов функций

принадлежности, для обозначения, как частных желательностей, так и обобщенной функции желательности используют так называемые Р-оценки [9, 10]. Соответствие диапазонов Р-оценок и уровней показателя представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Соответствие диапазонов Р-оценок и уровней показателя для различных балльных оценок

Диапазоны значений Р-оценок (Р, отн. ед.)	Уровень показателя (пятибалльная оценка)	Наименование уровня	Уровень показателя (трехбалльная оценка)	Наименование уровня
$P > 0,80$	5	Высокий	3	Высокий
$0,80 > P \geq 0,64$	4	Выше среднего		
$0,64 > P \geq 0,37$	3	Средний		
$0,37 > P \geq 0,20$	2	Сниженный	2	Средний
$P < 0,20$	1	Низкий	1	Низкий

Поясним использование функции желательности Харрингтона на примере психофизиологического обследования персонала аварийно-спасательных формирований Госкорпорации «Росатом». В исследованиях приняли участие шесть человек в возрасте от 26 до 45 лет.

Обследование проводили на основе методик, используемых в Госкорпорации «Росатом» [11], и включало оценку ФизС, ПФизС и ПС персонала аварийно-спасательных формирований.

Для оценки уровня ФизС исследовали: артериальное давление (артериальное давление систолическое, артериальное давление диастолическое и артериальное давление пульсовое), вариабельность сердечного ритма (средняя длительность кардиоинтервалов, среднеквадратического отклонение кардиоинтервалов, показатель суммарной мощности спектра, вегетативный баланс по отношению мощности высоко- и низкочастотной составляющей спектра колебаний кардиоинтервала и индекс напряжения регуляторных систем), функциональную устойчивость (проба с приседаниями, ортостатическая проба и проба со статической мышечной нагрузкой).

Для оценки уровня ПФизС проводили методики: простая зрительно-моторная реакция, сложная зрительно-моторная реакция, - реакция на движущийся объект, теппинг тест, контактная координациометрия по профилю.

Для оценки уровня ПС исследовали: состояние интеллекта (шкала прогрессивных матриц Дж. Равена и тест механической понятливости Беннета), личностные особенности (Миннесотский многошкальный личностный опросник - сокращённый

вариант 383 вопроса. Версия института им. Бехтерева), профессиональную мотивацию (опросники Реана, опросник на «выгорание» К. Маслач и С.Джексон, опросник для изучения ведущих мотивов профессиональной деятельности и опросник поведения и переживания, связанного с работой), самооценку (шкала ситуативной и личностной тревожности Спилбергера-Ханина и методика САН).

Измерение артериального давления производили с помощью автоматического измерителя артериального давления UA-777 фирмы «A&O Ltd».

Для изучения характеристик ПФизС и ПС использовали компьютерный комплекс «НС-Психотест» ООО «Нейрософт».

Регистрации электрокардиограмм и первичный анализ variability сердечного ритма осуществляли с использованием аппаратно–программного комплекса «AnnA Flash-3000» ООО "Медицинские Компьютерные Системы".

Результаты обследования по каждой методике относили к показателям первого иерархического уровня и использовали для вычисления частных желательностей.

Для примера вычислений частной желательности d^i возьмем показатель «среднее время реакции» простой зрительно-моторной реакции величиной 300 мс и его граничные значения: «высокий уровень» (верхняя граница нормы) равный 242 мс и «низкий уровень» (нижняя граница нормы) – 345 мс [11]. Верхней границе нормы (y_{max}) соответствует величина желательности d_i равная 0,8 отн. ед., а нижней границе нормы (y_{min}) соответствует величина желательности d_i равная 0,37 отн. ед. Подставляя представленные выше числовые значения в формулы (7), (4) и (1) получим частную желательности d^i равную 0,61, что соответствует высокому уровню данного показателя по трехбалльной шкале желательности (таблица 2).

Все частные желательности, вычисленные по результатам психофизиологического обследования, использовали для вычисления интегральных показателей первого иерархического уровня по методике (например, variability сердечного ритма) или по группам показателей (например, группа показателей интеллекта) с использованием формулы (3). Интеграцию показателей первого иерархического уровня в показатели второго иерархического уровня (ФизС, ПФизС и ПС) также проводили с использованием формулы (3).

Отдельные группы показателей ФизС и уровень ФизС обследованных лиц представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Оценки показателей и уровень ФизС персонала

Шифр объекта наблюдения	Р-оценки показателей ФизС, отн. ед.				Уровень ФизС (трехбалльная оценка)
	давление Артериальное	сердечного ритма Варибельность	устойчивость Функциональная	ФизС	
1	0,41	0,40	0,37	0,39	3
2	0,24	0,83	0,80	0,54	3
3	0,66	0,67	0,80	0,71	3
4	0,39	0,62	0,25	0,39	3
5	0,43	0,35	0,80	0,50	3
6	0,62	0,37	0,37	0,44	3

Анализ данных таблицы 3 показал, что, несмотря на высокий уровень ФизС, установленный у всех обследованных, величина Р-оценки ФизС у отдельных лиц отличалась более чем в 1,8 раза (объекты наблюдения 1 и 4). Это свидетельствует об информативности Р-оценки, полученной с использованием функции желательности, в качестве количественного показателя индивидуального состояния организма.

Р-оценку ПФА рассчитывали как среднее геометрическое Р-оценок ФизС, ПФизС и ПС по формуле (3). Р-оценки показателей ПС, итоговые значения ФизС, ПФизС и уровень ПФА обследованных лиц представлены в таблице 4. Формализованный критерий уровня ПФА – интегральная Р-оценка в диапазоне от 0,37 до 1,00 отн. ед., свидетельствовал о высоком уровне ПФА у персонала, что не предусматривало проведения дополнительных мероприятий по медицинскому или психофизиологическому обследованию спасателя.

Таблица 4 - Р-оценки ПС, ФизС, ПФизС и ПФА и уровень ПФА обследованных лиц

Шифр объекта наблю- дения	Р-оценки показателей ПС, отн. ед.					Р-оценка ПФизС, отн. ед.	Р-оценка ФизС, отн. ед.	Р-оценка ПФА, отн. ед.	Уровень ПФА (трехбалльная оценка)
	Интеллект	Личностные особенности	Самооценка	Мотивация	ПС				
1	0,75	0,81	0,88	0,30	0,63	0,31	0,39	0,42	3
2	0,31	0,82	0,74	0,37	0,51	0,30	0,54	0,44	3
3	0,81	0,76	0,85	0,47	0,70	0,61	0,71	0,67	3
4	0,94	0,78	0,62	0,50	0,69	0,29	0,39	0,43	3
5	0,81	0,82	0,82	0,48	0,72	0,34	0,50	0,50	3
6	0,77	0,35	0,63	0,40	0,51	0,34	0,44	0,42	3

В случае, если значения Р-оценки находятся в диапазоне от 0,36 до 0,20 отн. ед. (средний уровень ПФА), необходимо проведение психофизиологического обследования с использованием дополнительных тестов. Значения Р-оценки ниже 0,20 отн. ед. являются показателем низкого уровня ПФА и служат основанием для проведения психофизиологического обследования с использованием дополнительных тестов и, в зависимости от результатов повторного тестирования, возможном представлении рекомендаций руководству о направлении спасателя на внеочередное медицинское обследование.

Заключение

Интеграция показателей, полученных в ходе психофизиологического обследования персонала аварийно-спасательных формирований с использованием функции желательности Харрингтона, является корректным способом получения формализованных критериев уровня ПФА.

Принимая во внимание универсальность данного математического метода по преобразованию разнородных показателей в количественную безразмерную шкалу, на основе функции желательности возможна формализация не только данных психофизиологического обследования, но и результатов наблюдения, оценки поведения, медицинских обследований, экспертной оценки профессиональной успешности и других параметров деятельности персонала.

Интеграция данных, всесторонне характеризующих спасателя в различных условиях функционирования, позволит определять критерии и выносить обоснованные

заклучения об уровне адаптации, надежности деятельности и разрабатывать рекомендации для сохранения профессионального здоровья и обеспечения профессионального долголетия.

Литература

1. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: «Издательство Машиностроение», 2004. – 397 с.
2. Носов М.В. Автоматизация распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест с учетом их психофизиологического состояния: дис. канд. тех. наук. – Орел, 2014. – 109 с.
3. Басов О.О., Хахамов П.Ю., Носов М.В. Повышение эффективности управления в условиях изменяющегося психофизиологического состояния персонала // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 3(34). – С 112-135.
4. Ткаченко Ю.С. Обоснование применения функции желательности в решение задач оценки эффективности технических систем // Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. / Воронежский гос. техн. ун-т. – 2013. – Вып. 16. – С. 106-109.
5. Пуряев А.С. Теория и методология компромиссной оценки эффективности инвестиционных проектов в машиностроении: автореф. дис. д-ра эконом. наук. – Санкт-Петербург, 2009 – 36 с.
6. Автоматизированные системы для контроля состояния специалистов опасных профессий / И.Б. Ушаков[и др.]. – М. : Нов. технологии, 2005. – 32 с.
7. Новиков Д.А., Новочадов В.В. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи). – Волгоград: Издательство ВолГМУ, 2005. – 84 с.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
9. Кузнецов Б.Л. Моделирование синергетических систем в экономике (конспект лекций): часть I. – URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-40162.html> (дата обращения 01.10.2015).
10. Временное положение по психофизиологическому обеспечению надежности профессиональной деятельности и сохранению состояния здоровья персонала энергетических предприятий: приложение к приказу РАО «ЕЭС России» от 4.08.2000

11. Методические рекомендации по проведению психофизиологического обследования работников атомной станции: приложение к приказу ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 11.02.2013 № 9/122-П.