

на правах рукописи

СКВОРЦОВА

Ольга Станиславовна

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГЭС**

Специальность 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт – Петербург 2002

Диссертационная работа выполнена в Санкт – Петербургском государственном
техническом университете (СПбГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Арефьев Н.В.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, ст.н.с. Шарьгин В.С
Кандидат технических наук Кудряшева И.Г.

Ведущая организация - ОАО "Ленгидропроект"

Защита состоится “_____” _____ 2002г в ____ часов
на заседании диссертационного совета Д212.229.17
в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу:
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, Гидрокорпус-2, ауд.411

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке
Санкт-Петербургского государственного технического университета.

Автореферат разослан “_____” _____ 2002г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.Т. Орлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Принятие в 1997 году Федерального закона " О безопасности гидротехнических сооружений" поставило перед энергетикой России целый ряд проблем по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС), электростанций. Одной из важнейших задач при этом является разработка электростанциями "Декларации безопасности ГТС" для крупных ГЭС (сложных и уникальных объектов), разрушение которых может привести к очень большим материальным, социальным и экологическим ущербам. При составлении деклараций безопасности, указанный выше, закон требует количественной оценки уровня безопасности ГТС. Известно, что мерой уровня безопасности является риск :

$$R=P*Y,$$

где P – вероятность реализации аварийной ситуации на объекте, а Y- величина ущерба, причиненного в результате реализации аварийной ситуации.

Следовательно, для оценки безопасности объекта актуальной является задача определения сценариев возможных аварийных ситуаций на конкретных гидротехнических сооружениях и определение вероятности их реализации.

Целью данной диссертационной работы является разработка методики определения вероятностей реализации сценариев аварийных ситуаций на ГЭС с использованием метода экспертных оценок.

Для достижения этой цели выполнено:

- обзор литературы по оценке вероятностей реализации аварийных ситуаций на ГЭС;
- анализ базы данных аварийных ситуаций на ГЭС мира и общих закономерностей их возникновения;
- адаптирован алгоритм ранговых экспертных оценок для создания рядов предпочтения по величине вероятности реализации причин аварийных ситуаций на ГЭС для каждого года пятилетнего периода прогнозирования;
- адаптирован алгоритм многоточечных экспертных оценок для количественного определения величины вероятности реализации причин аварийных ситуаций с прогнозом на пятилетний период;
- на базе общих закономерностей возникновения аварийных ситуаций на ГЭС разработан алгоритм расчета числа возможных сценариев аварийных ситуаций и оценки вероятности их реализации на конкретном объекте с прогнозом на пятилетний период;
- создана автоматизированная система экспертных оценок вероятностей реализации аварийных ситуаций на конкретном объекте.

Научная новизна исследований заключается в разработке и реализации комбинированного экспертно-статистического подхода к оценке вероятности возникновения аварийной ситуации на ГЭС.

Личный вклад автора заключается:

- в постановке задачи оценки вероятности возникновения аварийной ситуации на ГЭС;
- в разработке общего алгоритма экспертно-статистической оценки вероятности реализации аварийных ситуаций на ГЭС;
- в реализации разработанной методики в виде информационно-аналитической системы и ее апробации в создании нормативных документов.

Достоверность полученных результатов определяется использованием достоверной исходной информации об аварийных ситуациях имевших место на ГЭС и применением апробированных методик экспертных оценок.

Практическая значимость работы заключается в создании методики оценок вероятностей реализации сценариев возможных аварийных ситуаций на конкретном объекте с прогнозом на пятилетний период. Данная методика обеспечивает решение задач декларирования безопасности гидротехнических сооружений во исполнение требований закона " О безопасности гидротехнических сооружений".

Апробация результатов исследований выполнена в виде докладов на всероссийских и городских научно-технических конференциях и совещаниях: Четвертая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов в 1999 г., XXVIII неделя науки СПбГТУ в 1999 г., международной конференции и выставке AQUATERRA в 2000 г..

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 114 страницах, содержит 20 рисунков, 31 таблицу и состоит из введения , четырех глав, заключения , списка литературы (83 наименования)

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, определены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и значимость полученных результатов.

В первой главе характеризуется современное состояние вопроса оценки вероятности реализации различных сценариев аварийных ситуаций на ГЭС

Проблеме надежности и безопасности гидротехнических сооружений, как в России, так и за рубежом уделяется большое внимание. Ей посвящено много работ опубликованных в разное время, особенно в период 1990-1999г.г. В первой главе были рассмотрены те из них, которые в основном определяют современное состояние проблемы. Из проведенного анализа литературы, касающейся вопросов оценки безопасности ГЭС, и определения числа и вероятности возможных аварийных ситуаций на этих объектах, можно констатировать:

1. Поставленная задача чрезвычайно актуальна в настоящее время и до сих пор не имеет приемлемого решения.

2. Можно выделить следующие применяемые для ее решения методы:

а). детерминированный, основанный на методе предельных состояний (СнИПы). Однако, он, определяя надежность сооружения, не позволяет учитывать возможные случайные, экстремальные воздействия, а также не дает возможности оценки риска возникновения аварийных ситуаций;

б). вероятностный подход. Значительный вклад в развитие этого подхода внесли Болотин В.В., Ржаницын А.Р., Шульман С.Г., Стефанишин Д.В.. Он основан на детерминированном методе предельных состояний, но с учетом случайного разброса, как параметров материалов, так и возможных воздействий и нагрузок. Основным недостатком такого подхода является существенный недостаток исходных данных для определения функций распределения случайных величин. Это приводит к тому, что на практике за такую функцию часто принимают нормальный закон распределения, что, очевидно, далеко не всегда совпадает с действительностью;

в) метод статистического анализа. Этот подход подробно разработан в трудах Иващенко И.Н., Золотова Л.А., Калустяна Э.С.. В основе этого метода лежит определение числа осуществившихся аварийных ситуаций в отношении к числу рассмотренных объектов и сроку их службы. В результате получается число, определяющее частоту реализации аварийных ситуаций в год. Для ГЭС, в зависимости от числа объектов исследования, их типа, а также выбранного периода наблюдения, это число составляет от 10^{-2} до 10^{-5} случаев аварийных ситуаций в год. Проводимый статистический анализ частоты реализаций аварийных ситуаций

осуществляется только в одномерном приближении, т.е. в зависимости только от одного признака (либо от места, либо от характера, либо от причины аварийной ситуации и т.д.). Это обстоятельство не позволяет оценить частоту реализации того или иного сценария.

г) экспертный метод. В частности теория экспертных оценок получила развитие в работах Альхименко А.И., Арефьева Н.В., Добрынина С.Н., Иващенко И.Н., Кудряшевой И.Г., Мирцхулавы Ц.Е., Масликова В.И., Тихоновой Т.С., Шарыгина В.С. В основе его лежит использование знаний и опыта экспертов для оценки риска аварийной ситуации на ГЭС. Однако, практически во всех случаях, для обработки мнения группы экспертов не применяется логико-математический аппарат метода экспертных оценок для выработки единого, обобщенного результата. Это, в конечном счете, приводит к тому, что результат ответственного решения определяется только одним экспертом. Кроме того, применение экспертного метода в работе И.Н. Иващенко дает оценку не в виде вероятности сценария аварийной ситуации, а качественную оценку состояния ГТС, выраженную в шестибальной шкале.

Итак, анализ литературы показывает, что в настоящее время не существует единой, общепризнанной методики определения числа и вероятности реализации сценариев аварийных ситуаций на конкретном объекте.

С нашей точки зрения, наиболее близок к решению этой задачи метод, основанный на комплексном объединении трехмерного, статистического анализа реально осуществившихся аварийных ситуаций и экспертной оценки применения полученных общих закономерностей к конкретному объекту. В данной диссертационной работе ставится задача адаптации метода экспертных оценок к определению вероятности реализации причин аварийных ситуаций в год исследования на конкретном объекте и на этой основе оценке вероятности реализации на нем сценариев аварийных ситуаций.

Во второй главе рассматриваются общие принципы классификации процессов аварийных ситуаций.

Анализ данных по аварийным ситуациям на ГЭС мира показывает, что имеется значительное число разнообразных процессов (сценариев), приводящих к таким явлениям. Все эти процессы неповторимы, как индивидуальные и объекты, на которых они происходят.

Все возможные на ГЭС сценарии аварийных ситуаций, в дальнейшем будем рассматривать как отдельное множество (систему). Для представления всего множества в виде отдельных групп, т.е. классификации, необходимо найти признаки таких процессов, которые бы являлись независимыми и общими для всех процессов анализируемого множества. Тогда, принципом классификации будет принцип выделения групп сценариев с одинаковыми значениями этих признаков.

Под пространством признаков, в дальнейшем, будем понимать n - мерное, прямолинейное, ортогональное пространство, по осям которого отложены значения параметров X_j^i (i - номер признака; j - значение признака). Каждый n - мерный элемент такого пространства будет определять группу сценариев аварийных ситуаций с одинаковыми значениями признаков, равными значениям координат этого элемента.

Введение понятия пространства признаков позволяет определить координаты каждого элемента этого пространства: $(X_{j^1}^1, \dots, X_{j^1}^i, \dots, X_{j^n}^n)$ и тем самым определить положение любого класса процессов аварийных ситуаций. Последнее обстоятельство позволяет в дальнейшем осуществить математическую формализацию операций с такими явлениями, как процессы развития аварийных ситуаций.

Шкала значений признака x^1_j - причина аварии $j^1_{\max} = 22$

Признак	Значения признака	Признак	Значения признака
x^1_1	Волна	x^1_{12}	оседание (просадка)
x^1_2	Грунты	x^1_{13}	паводок
x^1_3	Давление	x^1_{14}	переполнение
x^1_4	Дефект	x^1_{15}	недостатки проекта
x^1_5	Деформация	x^1_{16}	промерзание
x^1_6	Землетрясение	x^1_{17}	недостатки строительства
x^1_7	Износ	x^1_{18}	суффозия
x^1_8	Кавитация	x^1_{19}	трещинообразование
x^1_9	Климат	x^1_{20}	фильтрация
x^1_{10}	неизвестные причины	x^1_{21}	недостатки эксплуатации
x^1_{11}	оползни	x^1_{22}	Эрозия

Рис.1 а

Шкала значений признака x^2_j - место аварии $j^2_{\max} = 17$

Признак	Значения признака	Признак	Значения признака
x^2_1	водовод	x^2_{10}	колодец
x^2_2	водосброс	x^2_{11}	основание плотины
x^2_3	водохранилище	x^2_{12}	откосы
x^2_4	гидроагрегат	x^2_{13}	перемычка
x^2_5	грань	x^2_{14}	примыкание
x^2_6	гребень	x^2_{15}	тело плотины
x^2_7	дренаж	x^2_{16}	туннель
x^2_8	затвор	x^2_{17}	трубопровод
x^2_9	канал		

Рис.1 б

Шкала значений признака x^3_j - характер аварии $j^3_{\max} = 19$

Признак	Значения признака	Признак	Значения признака
x^3_1	закупорка	x^3_{11}	разжижение
x^3_2	Обвал	x^3_{12}	размыв
x^3_3	оползание	x^3_{13}	разрушение
x^3_4	опорожнение	x^3_{14}	разрыв
x^3_5	оседание	x^3_{15}	смещение
x^3_6	Отказ	x^3_{16}	суффозия
x^3_7	перелив	x^3_{17}	трещинообразование
x^3_8	повреждение	x^3_{18}	фильтрация
x^3_9	прорыв	x^3_{19}	Эрозия
x^3_{10}	протечка		

Рис.1 в

Развитие процессов аварийных ситуаций удобно представить и в виде "ветвящегося дерева", ветви которого указывают направление развития процесса. Описанная выше методика классификации рассматриваемых процессов позволяет построить такое "дерево". Итак, метод пространства признаков, или "дерева" процессов развития аварий позволяет представить всю систему рассматриваемых процессов в виде отдельных групп таких процессов, объединенных одинаковыми значениями введенных классификационных признаков.

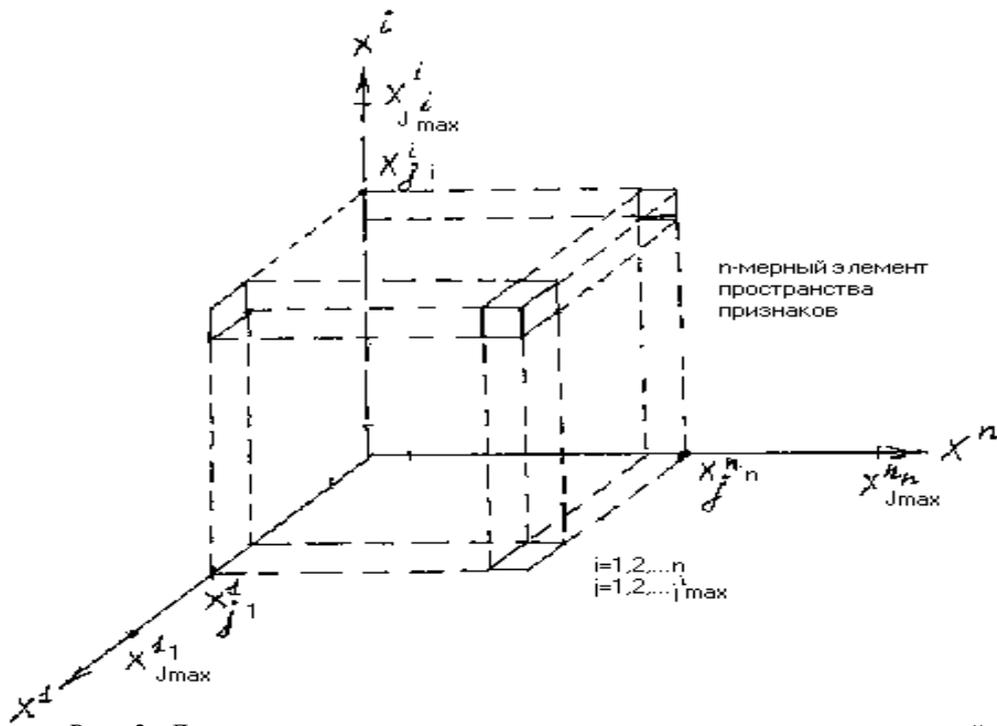


Рис.2. Дискретное n-мерное пространство признаков аварийных ситуаций

Для решения проблемы оценки частоты реализации аварийной ситуации необходимо:
 -определить основные признаки, по которым будет производиться классификация процессов аварийных ситуаций;
 -определить число реализаций аварийных ситуаций, попадающих в тот или иной элемент пространства признаков.

Решение этой задачи возможно на основе анализа случаев осуществившихся на практике аварийных ситуаций на ГЭС.

Для такого исследования использована автоматизированная информационно-аналитическая система данных по авариям на ГЭС мира (создана в ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева) АИАС "ГТА".

В данной работе рассмотренная автоматизированная система применяется для анализа с целью выработки принципов классификации аварийных ситуаций и выяснению тех их классов, которые могут реализоваться на ГЭС.

Из проведенного системного анализа реальных аварийных ситуаций следует, что в качестве общих, независимых признаков классификации можно выбрать следующие три атрибута:

- 1) X^1 - причина аварийной ситуации ($i=1$);
- 2) X^2 - место аварийной ситуации ($i=2$)
- 3) X^3 - характер аварийной ситуации ($i=3$)

Таким образом, систему сценариев аварийных ситуаций на ГЭС предлагается классифицировать по трем признакам: причина, место и характер.

Шкала качественных значений и диапазон изменения каждого из трех принятых для классификации признаков составлена на основании информационных массивов указанной выше базы данных АИАС «ГТА»[44]. Шкалы значений качественных признаков X^1 , X^2 , X^3 приведены на рисунке 1. Числа j^1_{max} , j^2_{max} и j^3_{max} на рисунке определяют количество значений принимаемых признаками X^1 , X^2 , X^3 , соответственно.

В соответствии с выбранными признаками классификации, процессы аварийных ситуаций всей системы будут описываться трехмерными элементами дискретного, ортогонально-

го пространства признаков (см.рис.2). Общий объем пространства признаков, содержащий все возможные реальные аварийные ситуации, равен:

$$V_3 = j_{\max}^1 * j_{\max}^2 * j_{\max}^3 = 22 * 17 * 19 = 7106$$

Следовательно, в соответствии с продиктованными базой данных аварий на ГЭС условиями о числе признаков и диапазоне изменения их значений, все возможные реализующиеся на практике сценарии аварийных ситуаций можно представить 7106 группами классификации. Каждая такая группа характеризуется своим набором трех значений признаков X^1 , X^2 и X^3 : $(X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)$

В соответствии с вышеизложенным, процесс аварийной ситуации можно описать «деревом» таких процессов с тремя уровнями «ветвления». Здесь, первый уровень «ветвления» определяется признаком X^1 (причина), уровень второй – признаком X^2 (место), а уровень три– признаком X^3 (характер) отказа. Число ветвей на каждом уровне «ветвления»:

$$1 \text{ уровень- } j_{\max}^1 = 22$$

$$2 \text{ уровень- } j_{\max}^1 * j_{\max}^2 = 22 * 17 = 374$$

$$3 \text{ уровень- } j_{\max}^1 * j_{\max}^2 * j_{\max}^3 = 22 * 17 * 19 = 7106$$

Функция распределения вероятности реализации аварийных ситуаций по элементам трехмерного пространства признаков будет иметь вид:

$$P_0 (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3),$$

где $X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3$ - координаты элемента пространства признаков, включающего все сценарии аварийных ситуаций с этими значениями признаков классификации. Эту функцию можно приближенно определить путем прямого подсчета осуществившихся аварийных ситуаций, взятых из базы данных аварий, по формуле:

$$P_0 (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3) \approx \rho (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3) = \frac{N(X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)}{N_0} \quad (1)$$

Здесь, $N(X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)$ - число реально осуществившихся аварийных ситуаций с признаками: $X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3$; N_0 – общее число аварийных ситуаций в базе данных осуществившихся аварийных ситуаций; $\rho (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)$ - относительное число (частота) реализованных аварийных ситуаций с признаками $X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3$.

Предложенный в работе алгоритм позволяет на базе анализа данных аварийных ситуаций на ГЭС получить функцию $\rho (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)$ в трехмерном пространстве признаков, определяющую как классы сценариев аварийных ситуаций, так и частоту их реализации.

Следует иметь в виду, что полученная таким образом дискретная функция $\rho (X_{j^1}^1, X_{j^2}^2, X_{j^3}^3)$ определяет лишь общие закономерности появления аварийных ситуаций на ГЭС и не учитывает уникальных особенностей каждого конкретного объекта .

В третьей главе. рассматривается применение метода экспертных оценок для определения вероятности реализации причин возникновения аварийных ситуаций на конкретном объекте ГЭС.

Как указывалось в главе 2, функция $\rho (X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3)$ определяет общие закономерности процессов развития аварийных ситуаций на ГЭС. Но, очевидно, она не может учитывать индивидуальные особенности конкретного объекта. Поэтому, здесь рассматривается вопрос о том, как дополнить имеющуюся информацию об общих закономерностях данными, учитывающими особенности конкретного объекта. Очевидно, единственным путем получения необходимой исходной информации является использование опыта и знаний экспертов, обработанных по методу экспертных оценок.

Анализ поставленной задачи привел к разработке следующего алгоритма ее решения.

1. Так как функция $\rho (X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3)$ получена из анализа данных осуществившихся аварийных ситуаций, т.е. при условии, что вероятность реализации причин таких процессов равна единице. Это обстоятельство дает естественное, недостающее звено связи между общими закономерностями и специфическими особенностями конкретных объектов. Действительно, определяя вероятности реализации причин процессов аварийных ситуаций на конкретных объектах, которые отличны от единицы и учитывают специфические особенности как внешних (воздействия, нагрузки, климат) и внутренних (свойства материалов и конструкций, срок службы и т.д.) факторов, так и влияние человеческого фактора (недостатки нормативно- методической документации, использованной при проектировании, строительстве и эксплуатации, ошибки эксплуатационного персонала и т.д.), получаем возможность связать эти особенности с общими закономерностями.

2. Для этого вводится величина $\rho (X_{j1}^1)$ определяющая вероятность реализации причины X_{j1}^1 на конкретном объекте в год обследования. Число таких величин, очевидно, равно числу всех причин, приводящих к аварийным ситуациям на ГЭС, т.е. числу \sum_{\max}^i (согласно гл. 2 $\sum_{\max}^i = 22$).

3. В результате применения метода экспертных оценок получаем набор вероятностей реализации разных причин аварийных ситуаций: $\rho_3 (X_1^1), \rho_3 (X_2^1), \dots, \rho_3 (X_{j1}^1), \dots, \rho_3 (X_{j_{\max}}^1)$

4. Тогда, перемножая вероятности реализации причин аварийных ситуаций на конкретном объекте в год обследования от причины X_{j1}^1 на частоту реализации процессов аварийных ситуаций по общим закономерностям получаем:

$$P (X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3) = \rho (X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3) * \rho_3 (X_1^1) \quad (2)$$

где $P (X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3)$ – частота реализации на конкретном объекте за один обследуемый год сценариев аварийной ситуации со значениями признаков : $X_{j1}^1, X_{j2}^2, X_{j3}^3$.

5. Однако, для служб эксплуатации ГЭС, важно знать возможные процессы аварийных ситуаций на объекте не только в обследуемом году, но и прогноз их изменения в будущем. Для решения задачи прогнозирования не хватает исходных данных как по математической формализации, так и по воздействиям, свойствам материалов и действиям эксплуатационного персонала в прогнозируемом периоде. Следовательно, и эта задача может решаться только методом экспертных оценок.

Выберем пятилетний период прогнозирования: $p=5$ лет. Тогда для каждого $i^{го}$ года это-

го периода ($i = 1, 2, \dots, p=5$) необходимо экспертным путем определить частоту реализации на конкретном объекте причины $X_{j_1}^1$ аварийной ситуации, т.е., найти $\rho_3^i(X_{j_1}^1)$, где $\rho_3^i(X_{j_1}^1)$ – экспертная оценка частоты реализации $X_{j_1}^{1\text{ой}}$ причины в $i^{\text{ый}}$ год прогнозирования для конкретного объекта. Тогда, очевидно, общие закономерности процессов аварийных ситуаций (глава 2) адаптируются к конкретному объекту аналогично пункту 3:

$$P^i(X_{j_1}^1, X_{j_2}^2, X_{j_3}^3) = \rho(X_{j_1}^1, X_{j_2}^2, X_{j_3}^3) * \rho_3^i(X_{j_1}^1) \quad (3)$$

Здесь, $P^i(X_{j_1}^1, X_{j_2}^2, X_{j_3}^3)$ – частота реализации процесса аварийной ситуации на конкретном объекте в $i^{\text{ый}}$ год прогнозирования с признаками: $X_{j_1}^1, X_{j_2}^2, X_{j_3}^3$.

Далее, для каждого $i^{\text{ого}}$ года прогнозирования по формуле (3) составляется таблица возможных процессов аварийных ситуаций для конкретного объекта. Очевидно, прогноз на пятилетний период будет представляться пятью аналогичными таблицами (по одной на каждый год периода прогнозирования).

Описанный подход к решению задачи прогнозирования позволяет не только определить частоту реализации процессов аварийных ситуаций на конкретном объекте в год обследования, но и оценить изменения в его состоянии с течением времени, выявить какие отрицательные процессы будут играть первостепенную роль в будущем, учесть влияние ремонтов и реконструкции.

6. Число классов аварийных ситуаций, которые могут осуществиться на конкретном объекте может быть значительным. Исследования показали, что по величине частоты реализации они могут отличаться друг от друга на два-три порядка. Очевидно, нет необходимости учитывать все возможные на объекте сценарии аварийных ситуаций и необходимо отобрать из них наиболее существенные. Критерием такого отбора предлагается число "m".

Пусть процесс $P^i(X_{j_1}^1, X_{j_2}^2, X_{j_3}^3)$ в таблице $i^{\text{ого}}$ года прогнозирования имеет максимальную частоту реализации на обследуемом объекте P_{\max}^i . Тогда величину $P_{\text{гр}}^i$ граничной частоты реализации процесса аварийной ситуации можно определить по формуле:

$$P_{\text{гр}}^i = \frac{P_{\max}^i}{m} \quad (4)$$

Тогда, все процессы аварийных ситуаций частоты реализации которых будут меньше $P_{\text{гр}}^i$, могут не приниматься во внимание из-за малой частоты их реализации. Следовательно, число процессов аварийных ситуаций для $i^{\text{ого}}$ года прогнозирования конкретного объекта будет автоматически выбираться неравенством

$$P^i > P_{\text{гр}}^i \quad (5)$$

где P^i - частота реализации процессов аварийных ситуаций, принимаемых во внимание. Можно рекомендовать выбирать число "m" в пределах: $m=2 \div 5$.

Из сказанного выше ясно, что решающим этапом в оценке числа и частоты реализации сценариев аварийных ситуаций является процедура работы экспертов. Их основной задачей является определение величин $\rho_3^i(X_{j_1}^1)$, определяющих вероятность реализации на конкретном объекте $X_{j_1}^1$ ($j_1=1, 2, \dots, 22$) причины возникновения аварийной ситуации в $i^{\text{ый}}$ год обследования (где $i=1, 2, \dots, p=5$). Как показывает опыт, эксперт определяет величины ρ_3^i последо-

вательно по годам прогнозирования, начиная с первого года обследования и далее на пятилетний период. Однако, сразу дать численное значение вероятности реализации каждой из двух десятков возможных причин аварийной ситуации весьма затруднительно.

Поэтому, здесь, предлагается этот процесс осуществлять двумя этапами. На первом этапе эксперты устанавливают все возможные причины в ряд по степеням вероятности их реализации на обследуемом объекте, т.е. составляют ранжированные ряды причин реализации аварийных ситуаций для каждого года наблюдения за объектом, где каждой причине присваивается ранг R от 1 до 22. При этом $R=1$ получает причина с наибольшей вероятностью реализации.

Здесь, R_{ji}^i - ранг X_{ji}^1 причины в i -ый год обследования.

Назначение рангов осуществляется группой "m" экспертов (обычно m от 8 до 12). Для объективной обработки их данных и выработке единого мнения предлагается следующий алгоритм метода ранговых экспертных оценок.

Последовательность процедур, реализующих поставленную задачу, представлена на рисунке 3.

Процедура 1 подразумевает получение каждым экспертом ряда предпочтения причин аварийных ситуаций на конкретном объекте в i -ый год обследования.

Процедура 2 осуществляет операции получения согласованной группы ранжировок и исключение экспертов имеющих особое, резко не совпадающее с основной группой экспертов, мнение.

На следующем этапе реализуется процедура 3 получения обобщенного результата экспертизы - агрегированного ряда предпочтений (обобщенного мнения).

Обратная связь между второй и первой процедурой алгоритма позволяет эксперту, который не попал в основную группу ранжировок, после дополнительного изучения и анализа проблемы изменить свое мнение и представить откорректированную ранжировку ряда

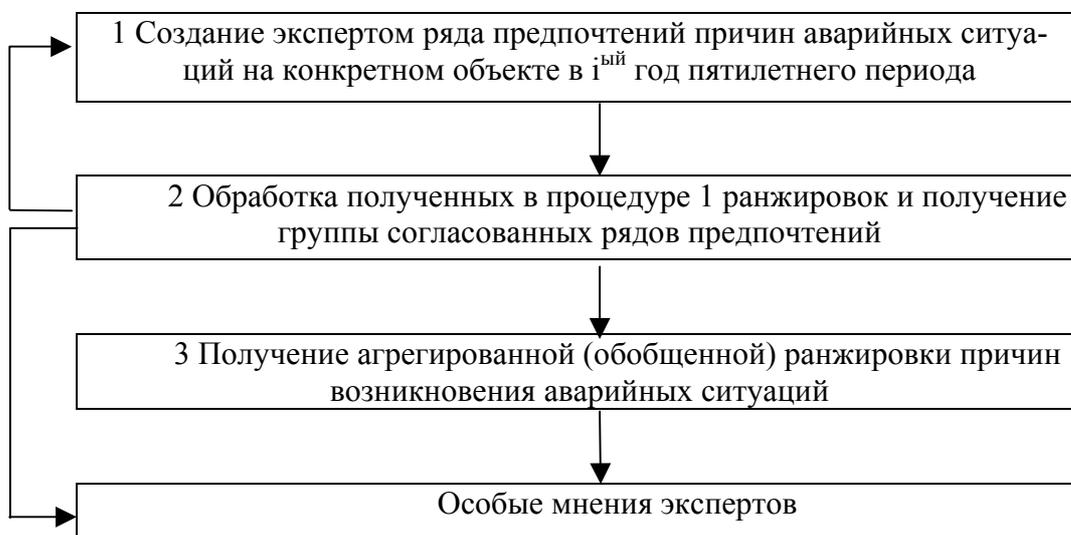


Рис.3.

Рассмотрим подробно операции, выполняемые в каждой из трех описанных выше процедур.

Процедура 1 реализуется следующими операциями:

1.1 Обучение эксперта методам составления ряда предпочтений. В данной работе рекомендуется применять метод последовательных сравнений.

1.2 Операция получения экспертом Δ_k своего ряда.

Здесь k - номер эксперта Δ_k ; $(R_{ji}^1)_k$ - ранг, присвоенный j^1 причине отказа k^{ym} экспер-

том. в i ^{ый} год обследования.

1.3 Составление матрицы результатов экспертизы всей группы экспертов путем объединения рядов предпочтения всей группы экспертов для каждого года обследования

Процедура 2 реализуется следующими операциями.

2.1. Проверка согласованности рядов предпочтения всей группы экспертов.

Критерием согласованности является выполнение неравенства

$$W_0 \geq 0,8 \quad (6)$$

где W_0 - коэффициент конкордации вычисляемый по формуле:

$$W_0 = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} * \sum_{j=1}^{n=22} (s_{j1} - \bar{s})^2 \quad (7)$$

Здесь m - число экспертов в группе; n - число элементов ранжирования;

$s_{j1} = \sum_{k=1}^m (R_{j1})_k$ - сумма рангов, присвоенных причине отказа X_{j1}^1 всеми экспертами.

$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n=22} s_{j1}$ - средняя сумма рангов присвоенных одной причине отказа.

Если неравенство (6) выполняется, то ранжировки представленные всеми экспертами группы будут согласованы. В этом случае дальнейшая обработка передается процедуре 3.

Если же неравенство (6) не выполняется, то осуществляется операция 2.2 поиска и исключения тех рядов предпочтения, которые ухудшают согласованность мнений экспертов.

2.2 Алгоритм поиска и исключения особых мнений экспертов принимается следующим.

1. Из исходной группы m ранжировок исключают ряд предпочтения эксперта Δ_k , и исследуют на согласованность группу $(m-1)$ ранжировок.

Для этой группы вычисляют коэффициент конкордации $W(k)$ по формуле (7), учитывая, что число экспертов не m , а $(m-1)$.

Затем сравнивают полученное значение $W(k)$ с коэффициентом конкордации исходной группы ранжировок W_0 . Если $W(k) < W_0$, т.е. согласованность новой группы ранжировок хуже исходной, то, очевидно, ранжировка $k^{ого}$ эксперта не ухудшала согласованность всей группы экспертов и может быть оставлена в ней.

Если $W(k) > W_0$, т.е. согласованность новой группы ранжировок лучше исходной, то, следовательно, ранжировка $k^{ого}$ эксперта ухудшала согласованность всей группы и должна быть из нее исключена. В этом случае эксперту предлагается еще раз ознакомиться с объектом и возможность изменить свое мнение. Если эксперт настаивает на своих выводах, он исключается из группы экспертов, а его мнение выводится в раздел "особые мнения".

Описанная выше операция должна быть проведена для всех экспертов группы. В результате из исходной группы ранжировок будут исключены все ряды предпочтения не совпадающие с мнением основной группы экспертов. Окончательно согласованная группа $m' < m$ ранжировок может быть представлена в виде матрицы (таблица 1).

Для проверки согласованности следует для этой группы снова проверить условие (6)

$W_0 > 0.8$ для группы m' ранжировок.

Процедура 3, основанная на методе выделения лидера осуществляется следующими операциями, (так как рассматривается согласованная группа ранжировок, то применяется формальная агрегация).

Операция 3.1. Здесь определяется причина отказа X_{j1}^1 обобщенного (агрегированного) ряда, которой присваивается ранг 1, т.е. наиболее опасная для рассматриваемого объекта.

Для этого из группы согласованных ранжировок (таблица 1.) выбирают все причины X_{j1}^1 , и т. д., которым присвоен ранг равный 1.

Таблица 1

Причины отказа	X_1^1	X_2^1	...	X_{j1}^1	...	X_{22}^1
Эксперты						
...
\mathcal{E}_k	$(R_1^i)_k$	$(R_2^i)_k$		$(R_{j1}^i)_k$		$(R_{22}^i)_k$
...
$\mathcal{E}_{m'}$	$(R_1^i)_{m'}$	$(R_2^i)_{m'}$...	$(R_{j1}^i)_{m'}$		$(R_{22}^i)_{m'}$

Затем вычисляется число ранжировок, в которых этим причинам присвоен ранг 1:

- $\omega_1^{(X_{j1}^1)}$ - число ранжировок в которых причине X_{j1}^1 присвоен ранг равный 1.

Из всего возможного набора чисел, $\omega_1^{(X_{j1}^1)}$ и т. д. выбираем число, имеющее максимальное значение: $\omega_1 \rightarrow \max$

В результате сравнения могут возникнуть два случая:

а) Максимальное значение имеет только одно значение числа ω_1 :

$$\omega_1^{(X_{j1}^1)} > \omega_1^{(X_k^1)} > \omega_1^{(X_i^1)} > \dots,$$

Т. е. $\omega_1^{(X_{j1}^1)} \rightarrow \max$

Следовательно, согласно метода выделения лидера, ранг равный 1 в агрегированном ряду присваивается причине X_{j1}^1 , т.е.

$$R_{j1}^i = 1$$

б) Несколько чисел ω_1 имеют одинаковое наибольшее значение

$$\omega_1^{(X_{j1}^1)} = \omega_1^{(X_k^1)} = \omega_1^{(X_i^1)} \rightarrow \max \quad (8)$$

В этом случае для выделения лидера из этих значений рассматриваются причины X_{j1}^1, X_k^1, X_i^1 из выражения (8).

При этом для каждой причины X_k^1 , и т.д. определяются числа $\omega_2^{(X_{j1}^1)}, \omega_2^{(X_k^1)}, \omega_2^{(X_i^1)}$ и т. д., т.е. сколько раз в ранжировках таблицы 1 встречаются присвоение причинам X_{j1}^1, X_k^1, X_i^1 ранг равный 2.

Затем сравниваются значения

$$\omega_2^{(X_{j1}^1)}, \omega_2^{(X_k^1)}, \omega_2^{(X_i^1)} \quad (9)$$

И т.д. и из них выбирается максимальное значение: например $\omega_2^{(X_k^1)} = \max$

Следовательно, т.к. при равных условиях ранг 1 присваивается трем причинам X_{j1}^1, X_k^1, X_i^1 но по рангу два максимум из них имеет причина X_k^1 , то ранг равный 1 в агрегированном ряду присваивается причине X_k^1 :

$$R_k^i = 1$$

Если и в выражении (9) не одно число ω_2 имеет максимальное значение, а несколько, то сравнение между ними идет уже по числу присвоения этим причинам ранга 3 и т.д..

Итак, в результате операции 3.1. определяется причина отказа X_k^1 , которой в агрегированном ряду присваивается ранг равный 1.

Операция 3.2.

Здесь определяется причина отказа X_j^1 (где $j=1, \dots, 22$), которой в агрегированном ряду предпочтения присваивается ранг равный 2.

Так как причина отказа X_k^1 , которой присвоен ранг равный единице уже определена в операции 3.1., то исключаем ее из матрицы. Оставшиеся 21 причина отказа представляется в виде таблицы подобной 1., но в которой исключена причина X_k^1 с уже определенным рангом равным 1. Из них выделяем лидера с рангом 2.

Дальнейшие операции аналогичны и определяют причины отказа, которым присваиваются ранги 3, 4, ..., n.

В результате выполнения всех этих (n-1) операций процедура 3 определяет обобщенный (агрегированный) ряд предпочтений причин отказа полученный методом "выделения лидера".

Описанный выше алгоритм определяет ряд предпочтения по величине вероятности реализации причин аварийных ситуаций в $i^{\text{ый}}$ год обследования. Для того чтобы получить такие же ранжированные ряды во все остальные годы пятилетнего периода, этот алгоритм должен быть повторен пять раз. Итак, метод ранговых экспертных оценок позволяет расположить для конкретного объекта все причины аварийных ситуаций, предложенные банком данных аварий, в ряд предпочтения, в котором каждая причина расположенная левее, более вероятна, чем стоящая справа.

Для расчета риска аварийной ситуации требуется количественная оценка вероятности реализации той или иной причины отказа. Как указывалось выше, методик таких расчетов ни в детерминированной, ни в вероятностной постановке, не существует.

Здесь предлагается применить для решения задачи метод временного прогнозирования, или, иначе, метод многоочечных экспертных оценок.

Он позволит получить количественные оценки вероятности реализации причин отказа на конкретном объекте для каждого года пятилетнего периода прогнозирования. При этом полученные ранее ранжированные ряды будут являться для экспертов исходной информацией.

Для каждой рассматриваемой причины аварийной ситуации эксперт оценивает вероятность ее реализации на конкретном объекте в каждый год пятилетнего периода. При этом сумма всех вероятностей для этой причины за пятилетний период может быть не равна 1, так как за этот период она необязательно должна будет реализоваться.

Алгоритм временного прогнозирования для поставленной задачи реализуется нижеследующими процедурами.

Процедура 1

Здесь, каждый эксперт \mathcal{E}_k ($k=1, 2, \dots, m$) выставляет вероятность реализации $\rho_{\mathcal{E}_k}^i(X_{j_1}^1)$ ($i=1, 2, \dots, 5$) в каждый год пятилетнего периода для рассматриваемой причины аварийной ситуации $X_{j_1}^1$ ($j^1=1, 2, \dots, 22$). Оценка производится с учетом ряда предпочтения полученного ранее.

Процедура 2.

Здесь, осуществляется анализ полученных экспертных оценок для создания согласованной группы экспертов. При этом эксперты, не попавшие в согласованную группу, после получения дополнительной информации, выставляют откорректированные оценки, или, если не меняют своего мнения, пишут обоснование своего решения в раздел «особое мнение».

Процедура 3.

В ней проводится математическая обработка согласованной группы экспертных оценок для определения наиболее вероятной для данной причины аварийной ситуации величины $\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1)$.

Очевидно, для полного решения задачи весь цикл из описанных выше трех процедур должен быть повторен $n=22$ раза (для каждой из рассматриваемых причин аварийных ситуаций): в работе изложены алгоритмы обработки высказываний экспертов.

В результате получается согласованная группа оценок m' экспертов, $m' \leq m$

Для обеспечения выработки обобщенного мнения согласованной группы экспертов вычисляется сумма вероятностей реализации причины отказа S_i даваемых всеми экспертами согласованной группы для каждого интервала пятилетнего периода прогнозирования:

$$S_i = \sum_{k=1}^{m'} (\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1))_k \quad (12)$$

и по всем интервалам периода прогнозирования:

$$S = \sum_{i=1}^5 S_i = \sum_{i=1}^5 (\sum_{k=1}^{m'} (\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1))_k) \quad (13)$$

Далее определяется:

$$\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1) = \left(\frac{S_i p}{S m'} \right) S_i \quad (14)$$

Здесь, $\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1)$ - обобщенная по всем экспертным оценкам согласованной группы, нормированная вероятность реализации рассматриваемой причины отказа \mathbf{X}_{j1}^1 в интервал i пятилетнего периода прогнозирования.

Таблица 2

Годовой интервал пятилетнего периода	1	2	3	4	5
Обобщенная, нормированная вероятность $\rho_{\vartheta}^i(\mathbf{X}_{j1}^1)$ реализации причины отказа \mathbf{X}_{j1}^1	$\rho_{\vartheta}^1(\mathbf{X}_{j1}^1)$	$\rho_{\vartheta}^2(\mathbf{X}_{j1}^1)$	$\rho_{\vartheta}^3(\mathbf{X}_{j1}^1)$	$\rho_{\vartheta}^4(\mathbf{X}_{j1}^1)$	$\rho_{\vartheta}^5(\mathbf{X}_{j1}^1)$

Результаты расчетов, представляющие собой, обобщенные по всей группе согласованных оценок экспертов, вероятности реализации рассматриваемой \mathbf{X}_{j1}^1 причины отказа, сводятся в виде таблицы 2

Для того чтобы оценить вероятности процессов отказа от всех $n=22$ рассмотренных в предыдущем параграфе причин отказа \mathbf{X}_{j1}^1 , где ($j^1 = 1, 2, 3, \dots, n=22$), необходимо повторить описанный выше алгоритм расчета для каждой причины.

В главе 4 описывается автоматизированная система обработки экспертных оценок частоты реализации причин аварийных ситуаций на конкретном объекте.

Как видно из алгоритмов ранговых и многоточечных экспертных оценок вероятности реализации причин аварийных ситуаций на сооружениях ГЭС, вычисления носят очень громоздкий характер. Поэтому, здесь для более эффективного использования предлагаемых результатов работы и значительного сокращения времени решения задачи, предлагается исполь-

зовать автоматизированную систему обработки экспертных оценок решения поставленной задачи. Структура такой системы, в соответствии с процедурами главы 3, представлена на рисунке 4. Как видно из рисунка структура состоит из трех блоков программных комплексов.

Блок 1, состоящий из пяти операций с циклом по всем пяти годам периода прогнозирования представляется программами реализации алгоритма ранговых экспертных оценок для формирования, для каждого года ряда предпочтения вероятностей причин возникновения аварийных ситуаций.

Блок 2, реализующий алгоритм временного прогнозирования (многоточечных экспертных оценок), представляется программами осуществляющими пять операций этого алгоритма с циклом по возможным причинам аварийных ситуаций на ГЭС. Результатом работы этого программного блока является количественное определение вероятности реализации причин аварийных ситуаций на обследуемом объекте в каждый год пятилетнего периода прогнозирования.

Блок 3 представляет собой программный комплекс, реализующий алгоритм адаптации общих закономерностей возникновения аварийных ситуаций на ГЭС (функция $\rho(\mathbf{X}_{j1}^1, \mathbf{X}_{j2}^2, \mathbf{X}_{j3}^3)$) к обследуемому объекту. Эта операция осуществляется по формулам (3) и (5). В результате получают описание набора возможных на обследуемом объекте сценариев аварийных ситуаций и вероятности их реализации для каждого года пятилетнего периода прогнозирования.

Программное обеспечение описанной автоматизированной системы написано на языке Слагюн и Фортран.

Организация работы с системой состоит из выбора группы «m» экспертов, каждому из которых присваивается свой номер под которым он проставляет свои оценки в предлагаемых на экране ПЭВМ таблицах. Дальнейшая обработка данных и получение результата осуществляется автоматически. Главным требованием к членам экспертной группы является требование хорошего знания обследуемого объекта и условий его работы.

Описанная здесь автоматизированная система обработки данных экспертных оценок позволяет:

1. Оперативно получить результат анализа возможных на обследуемом объекте сценариев аварийных ситуаций с количественной оценкой частоты их реализаций.
2. Применять описанную в работе методику на любом объекте ГЭС даже в отсутствие специалистов по методикам обработки экспертных оценок.



Рис.4 Структура программного комплекса автоматизированной системы определения сценариев аварийных ситуаций на конкретном объекте и оценки частоты их реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в данной работе исследования дают следующие результаты.

1. Выполнен обзор работ по оценке риска реализации различных сценариев аварийных ситуаций на ГЭС.

2. По результатам обзора выбран метод определения сценариев возможных аварийных ситуаций на ГЭС, основанный на системном анализе базы данных реальных аварий на ГЭС и позволяющий количественно определить общие закономерности их возникновения.

3. Для создания возможностей применения имеющихся общих закономерностей возникновения аварийных ситуаций на ГЭС к конкретному объекту предложено использовать метод экспертных оценок. Этот метод позволяет объективно оценить результаты работы группы экспертов и получить их обобщенное мнение, что повышает достоверность результатов.

4. Разработан алгоритм адаптации метода ранговых экспертных оценок для создания рядов предпочтения по степени наибольшей вероятности реализации причин возникновения аварийных ситуаций на ГЭС. Полученные результаты являются исходной информацией для последующей количественной оценки этих вероятностей.

5. Разработан алгоритм реализации метода временного прогнозирования (многоточечных экспертных оценок) для определения количественных значений частот реализации причин аварийных ситуаций на обследуемом объекте в каждый год пятилетнего периода прогнозирования.

6. Предлагаемые алгоритмы позволяют определить число и типы сценариев аварийных ситуаций наиболее вероятных для рассматриваемого объекта с оценкой частоты их реализации, а также с учетом динамики изменения возможных нежелательных процессов на сооружениях ГЭС в рамках пятилетнего периода.

7. Разработанная методика реализована в виде автоматизированной системы экспертных оценок.

8. Предложенная в работе методика определения числа и вероятности возможных сценариев аварийных ситуаций была использована при создании стандарта ВНИИГ им. Б.Е.Веденева по определению сценариев аварийных ситуаций на ГЭС и оценке частоты их реализации на конкретных объектах.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в:

1) Тезисы докладов четвертой Санкт-Петербургской ассамблеи молодых ученых и специалистов. Анализ природных и социально-экономических ущербов от создания энергетических объектов. Скворцова О.С. (Санкт-Петербургский государственный технический университет) Научный руководитель – Арефьев Н.В.

2) Скворцова О.С., Арефьев Н.В. "Методика ранговой экспертно-статистической оценки причин аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях". Научная конференция студентов и аспирантов. Программа XXIX неделя науки СПбГТУ 27 ноября-02 декабря 2000г. Санкт-Петербург Издательство СПбГТУ 2001г

3) Международная конференция и выставка Санкт-Петербург, 14-17 ноября 2000 г. AQUATERRA. Сборник материалов конференции. Экспертные методы оценки частоты реализации причин аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях. Скворцова О.С., Санкт-Петербургский Государственный Технический Университет.

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа изложена на 114 страницах, содержит 20 рисунков, 31 таблиц и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 83 наименований.

Автор выражает глубокую признательность д.т.н., профессору Арефьеву Н.В., к.т.н. Тихоновой Т.С., д.т.н. Баденко В.Л. и другим сотрудникам кафедры ИМГ и ООС СПбГТУ и лаборатории № 112 ВНИИГ им. Б.Е.Веденева за большую помощь в написании этой работы.