

7. Фомин В.М., Савастенко А.А. Методическое руководство для курсового и дипломного проектирования по курсу «Конструкция и расчет д.в.с.» Тема «Динамический расчет двигателей внутреннего сгорания». – М.: Изд-во РУДН. – 1992. – 16 с.

8. А. Воронцов «Год большого скачка», журнал «Мото». – М.: Изд-во «За рулем», №2, 2009г. – с. 58-60

9. «Автомобильная промышленность». – М.: Изд-во «Машиностроение», №6, 2010г.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И РИСКА ОТКАЗА СЭУ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Семионичев Д.С.** (ФГУ «Российский морской регистр судоходства»);  
**Медведев В.В.** (СПбГМТУ)

В настоящее время в отечественной практике остается актуальной задача создания методики оценки остаточного ресурса и риска отказа СЭУ, рассматриваемой в качестве единого комплекса механизмов, с использованием современных математических моделей, которая была бы разработана с учетом формализованной оценки безопасности (ФОБ), соответствовала бы международным стандартам качества, требованиям Международной конвенции по охране человеческой жизни на море СОЛАС-74 и, в частности, положениям главы 9 Конвенции – Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ), резолюциям и руководству КБМ ИМО, отвечала бы задачам Федеральной целевой программы РФ «Развитие гражданской морской техники на 2009-2016 годы».

Опираясь на рекомендации работы [1] и используя опыт работ [2]-[4] выполнена разработка математической модели и программного комплекса для расчета остаточного ресурса и риска отказа СЭУ и ее элементов.

Разработке предшествовал анализ типовых конструктивных решений элементов СЭУ с позиции их надежности, построение типовых деревьев событий для следующих вариантов состава СЭУ: СЭУ с малооборотным главным двигателем (ГД) и прямой передачей мощности на гребной винт фиксированного шага; СЭУ с малооборотным ГД и прямой передачей мощности на гребной винт регулируемого шага; СЭУ с высокооборотным ГД и передачей мощности на гребной винт фиксированного шага через реверс-редукторную передачу; СЭУ с высокооборотным ГД и передачей мощности на гребной винт регулируемого шага через редукторную передачу; СЭУ с высокооборотным ГД и передачей мощности на гребной винт через винто-рулевую колонку.

В качестве примера на рис. 1 приведено два верхних уровня (из восьми) дерева событий для СЭУ.

При анализе конструкции и управлении техническим состоянием СЭУ построенные деревья событий могут быть скорректированы с учетом особенностей проекта судна.

На базе построенных деревьев событий разработаны математическая модель и соответствующий программный комплекс (рис. 2), позволяющие с использованием имитационного моделирования рассчитать остаточный ресурс СЭУ и вероятность выхода из строя ее компонентов в течение исследуемого периода времени.

При математическом моделировании приняты следующие основные допущения:

ния:

- условия работы и режимы нагружения СЭУ в исследуемый период времени соответствуют предшествующему этапу эксплуатации;
- скорость изнашивания деталей при трении поверхностей на установившемся режиме работы пропорциональна времени износа;
- полный ресурс каждого элемента СЭУ является вероятностной величиной, распределенной в соответствии с предварительно определенным законом распределения;
- при управлении техническим состоянием и оценке надежности СЭУ применен метод статистического моделирования;
- в качестве стандартных законов распределения в созданном программном комплексе используются следующие виды распределения: нормальное, равномерное, экспоненциальное, распределения Вейбулла и Релея.

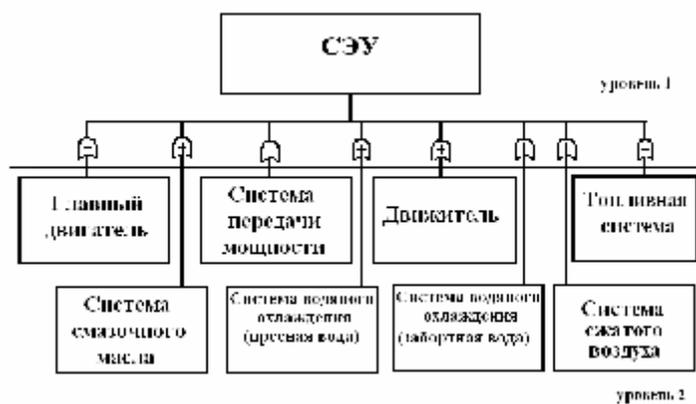


Рис.1. Типовое дерево событий для СЭУ

- поскольку в методе ФОБ даны лишь общие рекомендации по определению тяжести последствий, для достижения целей данного исследования и определения риска разработана матрица, позволяющая присвоить уровень опасности каждому нежелательному событию с элементами СЭУ для количественного определения риска. Предложено классифицировать каждый рассматриваемый отказ по следующим признакам: по внезапности возникновения начального события, по критичности отказа, по устраняемости отказа, по наличию сопутствующих факторов, приводящих к дальнейшему развитию сценария аварии;

- выбор варианта управления техническим состоянием СЭУ предложено проводить в два этапа с использованием принятой в работе двухуровневой иерархии критериев: на первом этапе определяется показатель риска, который сравнивается с допустимым уровнем и, при необходимости его снижения, на втором этапе проводится анализ и выбор наиболее приемлемого варианта управления риском по критерию экономической эффективности.

Отметим некоторые особенности программного комплекса и его использования:

- параметры распределений могут быть заданы для каждого элемента дерева событий начального уровня на основании статистических данных или в соответствии с рекомендациями, предложенными во второй главе исследования;
- при реализации модели предусмотрена возможность определения и изменения состава и количества отказавших элементов, при превышении которого наступает отказ элемента более высокого уровня дерева событий;

- число расчетов дерева событий при имитационном моделировании задается пользователем;

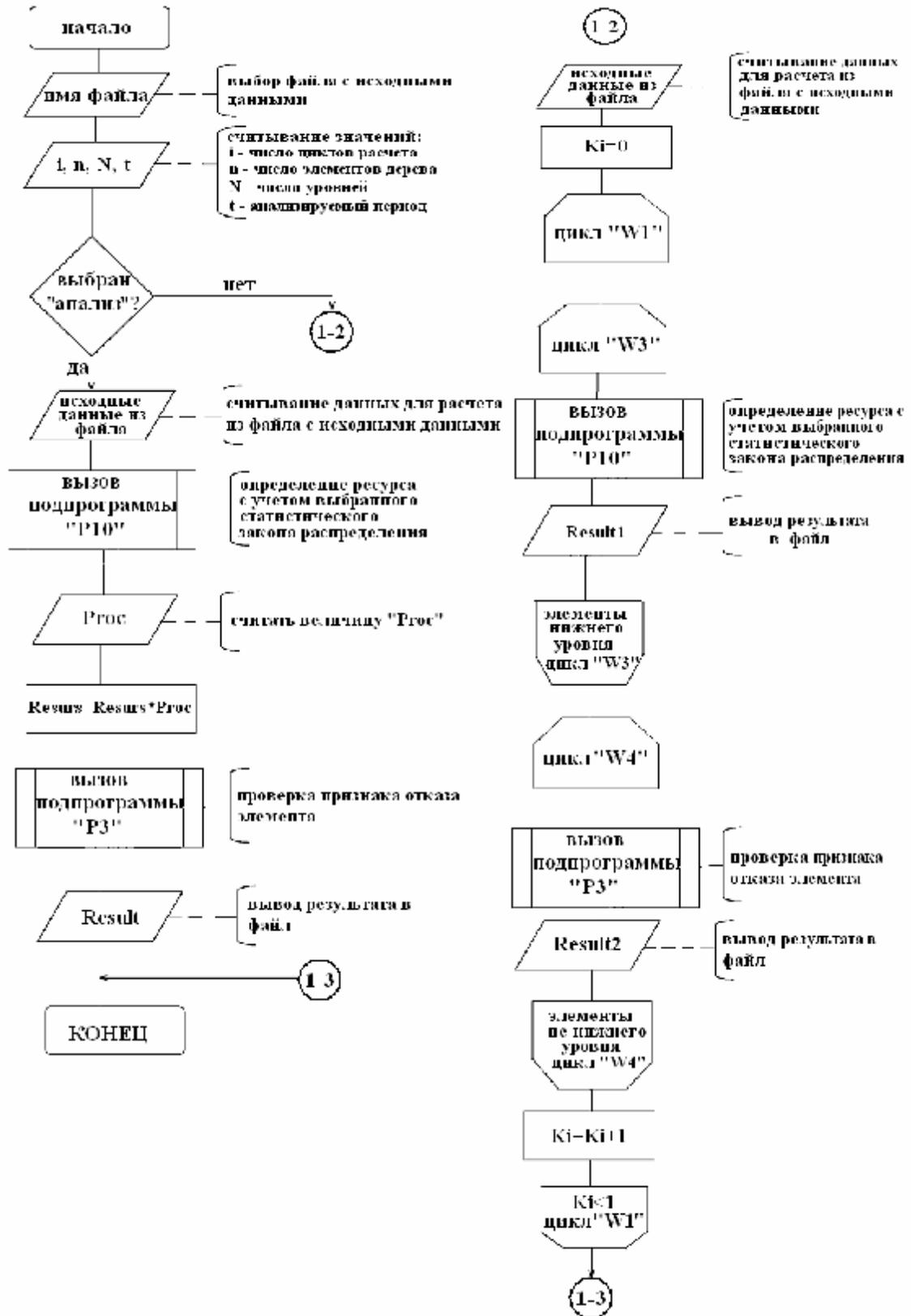


Рис.2. Алгоритм реализации математической модели в программном комплексе

- предусмотрена возможность количественной оценки влияния вероятности отказа и срока службы элементов дерева событий на надежность СЭУ;

- программный комплекс реализован на языке программирования Object Pascal в среде Delphi 10 Lite, передача результатов расчета осуществляется в режиме реального времени с использованием COM-технологии в таблицы Excel (пакет программ Microsoft Office 97-2003).

Перечисленные свойства математической модели и программного обеспечения позволяют проводить анализ надежности СЭУ различных составов и конструкций при ремонтах и/или модернизациях. По результатам анализа может быть выбран рациональный, экономически обоснованный вариант управления рисками.

#### **Литература:**

1. Медведев В.В., Семионичев Д.С. Методические рекомендации по прогнозу и оценке рисков при обосновании целесообразности модернизации судовых энергетических установок // Научно-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. СПб.: РС. 2009. № 32. С.171–181.

2. Семионичев Д.С. Практические аспекты применения первого этапа формализованной оценки безопасности в судостроении. Методы анализа опасности и риска // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2009. №49 (333). С.149–158.

3. Семионичев Д.С., Медведев В.В. Программное обеспечение для обоснования целесообразности модернизации судовой энергетической установки на основе прогноза и оценки риска // Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов: Тр. Девятой сес. межд. научн. шк. СПб: ИПМаш РАН, СПбГУ ИТМО. 2009. С.51–53.

4. Семионичев Д. С. Особенности проектирования и модернизации судовой энергетической установки судна с использованием модели дерева отказов // Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление: мат. межд. научн. конф. СПб: СПГУВК. 2009. С.365–367.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И РИСКА ОТКАЗА СЭУ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Семионичев Д.С.** (ФГУ «Российский морской регистр судоходства»);

**Медведев В.В.** (СПбГМТУ)

При определении остаточного ресурса и риска отказа СЭУ и ее элементов актуальной является проблема проверки адекватности разработанной математической модели и программного комплекса [1]. Решение этой проблемы связано, в частности, с подготовкой исходных данных [2]. Ниже описаны и проанализированы результаты экспериментальных исследований, которые позволяют судить о достоверности результатов расчетной оценки остаточного ресурса СЭУ и вероятности выхода из строя ее компонентов в течение исследуемого периода времени.

В ходе экспериментов проведена дефектация цилиндрических втулок главных двигателей 6ЧН 25/34 судна проекта 450М и цилиндрических втулок вспомогательных двигателей 8ЧН 25/34 рефрижераторного судна проекта 13476.

После двухгодичной навигации произведена повторная дефектация втулок цилиндров и по результатам измерений выполнена оценка надежности двигателей по критерию превышения предельно допустимого износа втулок цилиндра в течение следующих 20000 часов эксплуатации для главных двигателей и 5000, 10000, 15000 часов эксплуатации для вспомогательных двигателей. Также был определен средний ресурс двигателей по критерию износа цилиндрических втулок.

По результатам имитационного моделирования получено, что средняя наработка двигателя по критерию выхода из строя втулок вследствие износа с доверитель-