

УДК 004.891

UDC 004.891

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSIS MALFUNCTIONS OF ENGINES OF DIESEL POWER STATIONS**

Лаптев Владимир Николаевич

к.т.н., доцент

*ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина 13, E-mail: [mail@kubsau.ru](mailto:mail@kubsau.ru)*

Laptev Vladimir Nikolaevich

Cand.Tech.Sci., associate professor

*Kuban State Agricultural university, 350044, Russia, Krasnodar, Kalinina, 13, E-mail: [mail@kubsau.ru](mailto:mail@kubsau.ru)*

Сопильняк Юрий Николаевич

к. пед. н.

*ФКБОУ «Краснодарский университет МВД РФ», Краснодар, Россия, 350005, Россия, г. Краснодар, ул. Ярославская 128*

Sopilnyak Yuri Nikolaevich

Cand.Ped.Sci.

*Krasnodar University of Ministry of internal Affairs of the Russian Federation, 350005 Russia, Krasnodar, Yaroslavskyst st. 128. E-mail: [post@krdu-mvd.ru](mailto:post@krdu-mvd.ru)*

Дьяченко Роман Александрович

к.т.н.

Dyachenko Roman Aleksandrovich

Cand.Tech.Sci.

Бессалый Денис Николаевич

Bessaly Denis Nikolaevich

Лоба Инна Сергеевна

*ФГБОУ «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул.Московская 2*

Loba Inna Sergeevna

*Kuban State Technological University, 350072 Russia, Krasnodar, . Moskovskaya st, 2*

Рассматриваются вопросы разработки экспертной системы диагностики неисправностей двигателей дизельных электростанций на основе семантических сетей. Приводится методика, позволяющая разрабатывать экспертные системы на объектно-ориентированном языке программирования. Экспертная система позволяет без привлечения дополнительного персонала выявлять неполадки: при запуске и перегреве двигателя, при недостаточной мощности, при понижении давления масла и т.д

The article considers development of expert system based on semantic networks for diagnosis malfunctions of the diesel power stations engines. The method allows developing expert systems via object-oriented programming language. The expert system allows to identify the problem without involving additional staff: at the start and overheats of the engine, when there is low power, with decreasing pressure etc

Ключевые слова: ДИЗЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Keywords: DIESEL POWER STATION, EXPERT SYSTEM, SEMANTIC NETWORK

## Введение

В настоящее время в области диагностики неисправностей двигателей дизельных электростанций (ДДЭ) существуют следующие проблемы:

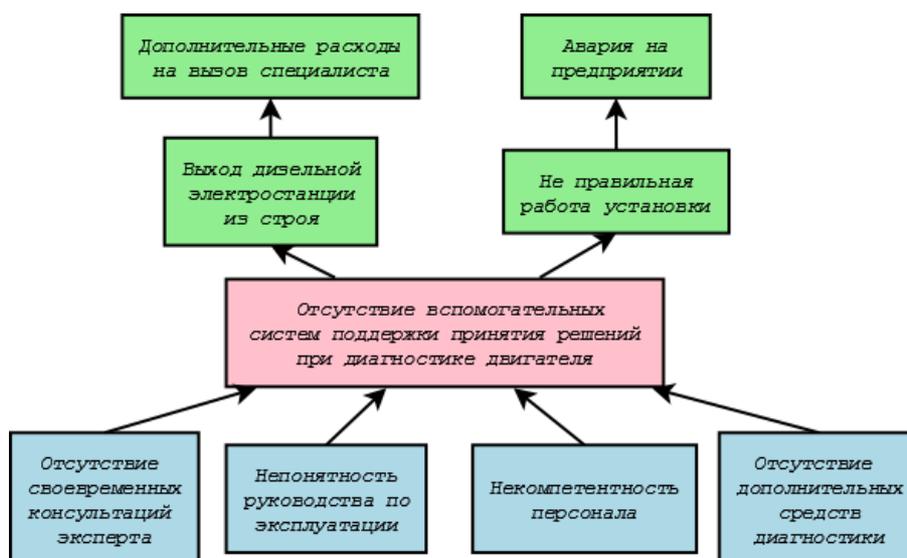
- выход дизельной электростанции из строя, приводящий к дополнительным расходам на вызов специалиста;
- неправильная работа установки, приводящая к аварии на предприятии.

Причинами сложившейся ситуации являются:

- отсутствие своевременных консультаций эксперта;
- отсутствие вспомогательных средств диагностики;
- непонятность руководства по эксплуатации;
- некомпетентность персонала.

Таким образом, одной из главных проблем является отсутствие экспертных систем диагностики двигателей дизельных электростанций.

Дерево проблем диагностики двигателей дизельных электростанций представлено на рисунке 1.



**Рисунок 1. Дерево проблем в области диагностики неисправностей ДДЭ**

По этим причинам разработка экспертной системы диагностики двигателей дизельных электростанций является актуальной и востребованной проблемой.

Целью работы является создание экспертной системы, позволяющей решить проблему диагностики двигателей дизельных электростанций.

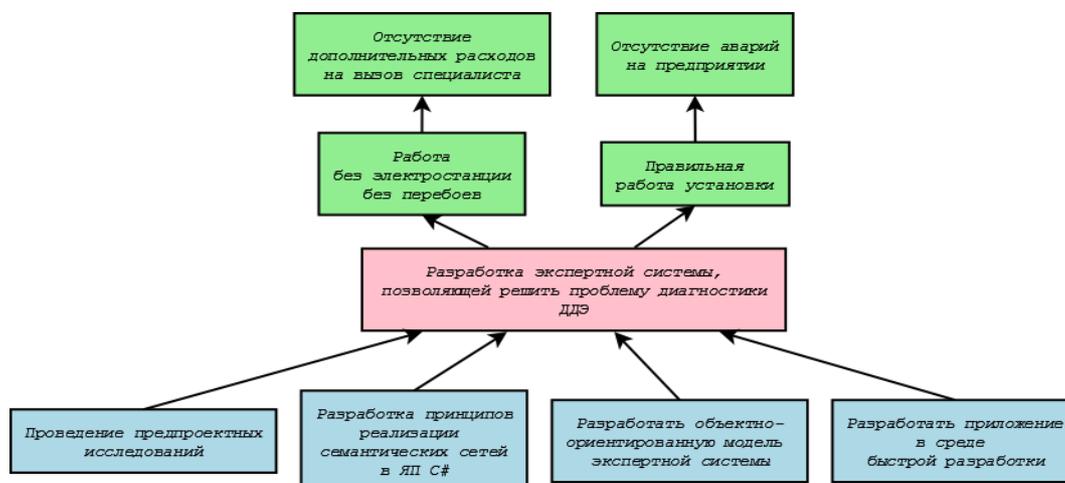
Объектом исследования является экспертная система диагностики неисправностей двигателей дизельных электростанций.

Предметом исследования является теоритическое обоснование и положения разработки экспертная система диагностики неисправностей ДДЭ.

Для реализации цели поставлены следующие задачи:

- проведение предпроектных исследований предметной области решаемой проблемы;
- разработка принципов реализации семантических сетей в языке программирования С#;
- разработать объектно-ориентированную модель экспертной системы;
- разработать приложение в среде быстрой разработки.

Дерево целей поставленной проблемы представлено на рисунок 2.



**Рисунок 2. Дерево целей в области диагностики неисправностей ДДЭ**

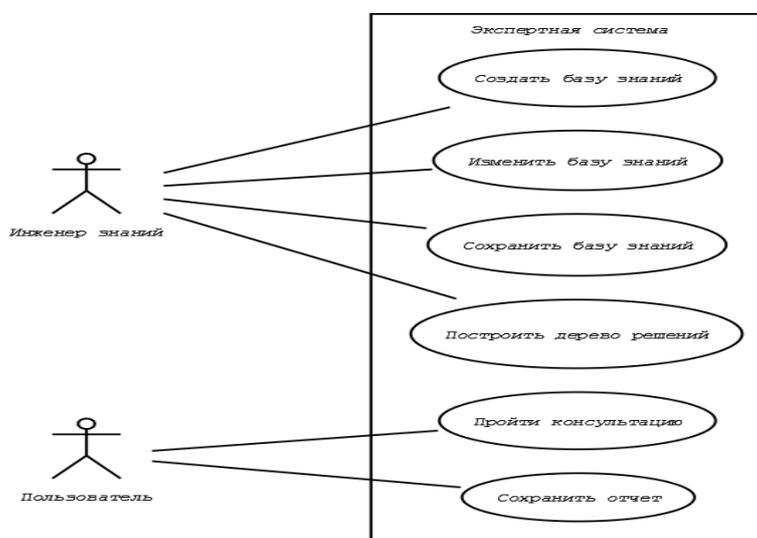
Для решения поставленных задач используются следующие методы:

- методы теории баз знаний на основе семантических сетей;
- методы графологического вывода;
- методы объектно-ориентированного анализа;
- язык объектно-ориентированного моделирования UML.

Результаты исследований и разработки могут быть использованы персоналом, обслуживающим двигатель дизельной электростанции, для предварительной диагностики неисправностей.

### Описание предметной области

Предметная область экспертной системы (ЭС) диагностики неисправности двигателей дизельных электростанций описана UML-диаграммой вариантов использования, представленной на рисунке 3.



**Рисунок 3. UML-диаграмма вариантов использования ЭС**

Где, актер 1 «Инженер знаний» – специалист, занимающийся «извлечением» знаний, их формализацией и определяющий стратегию работы ЭС. Инженер обладает полномочиями:

1. Создание базы знаний.
2. Изменение базы знаний.

3. Сохранение базы знаний в файл.

4. Построение дерева решений.

Актер 2 «Пользователь» – специалист, использующий ЭС для получения рекомендаций в данной предметной области, определяемой содержанием БЗ. Пользователь обладает полномочиями:

1. Прохождение консультации при диагностике неисправностей ДДЭ.

2. Сохранение отчета с результатами пройденной консультации.

### Деревья решений диагностики различных неисправностей ДДЭ

Для исследуемой предметной области были разработаны деревья решений диагностики различных неисправностей ДДЭ, формализованные семантическими сетями. Деревья представлены на рисунках 4 – 11.

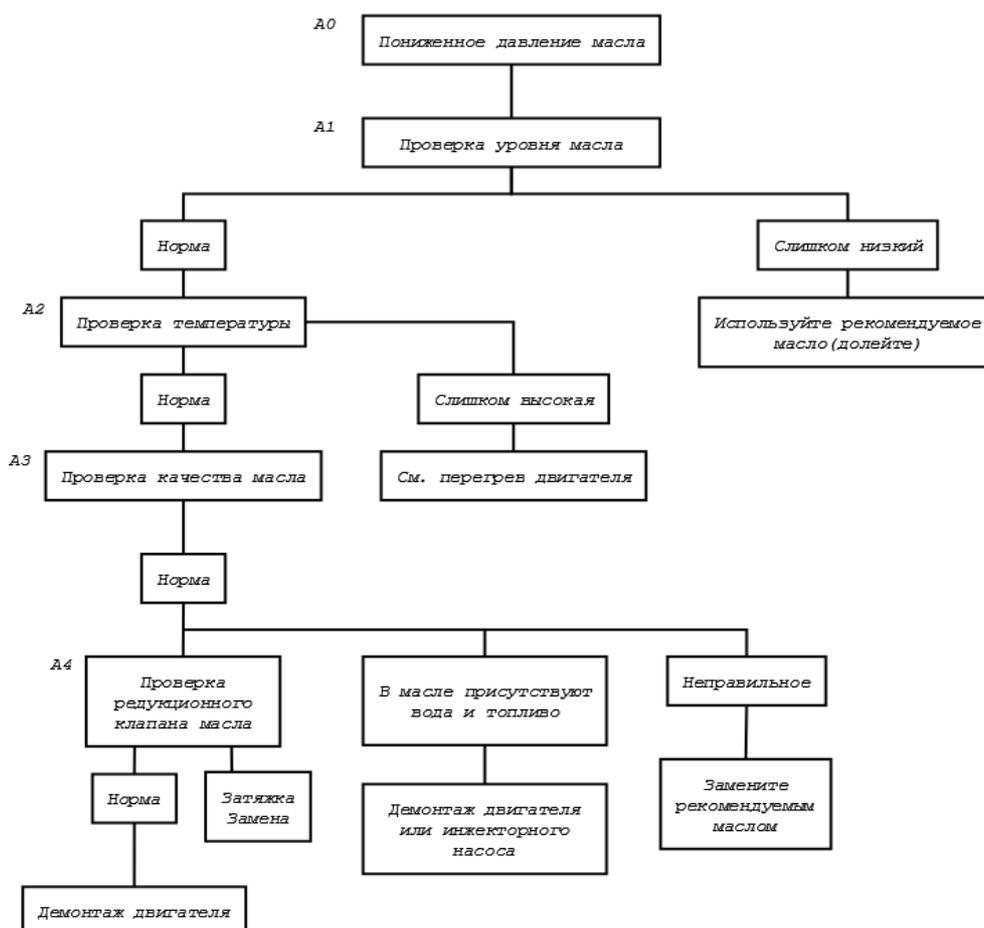


Рисунок 4. Дерево решений при пониженном давлении масла

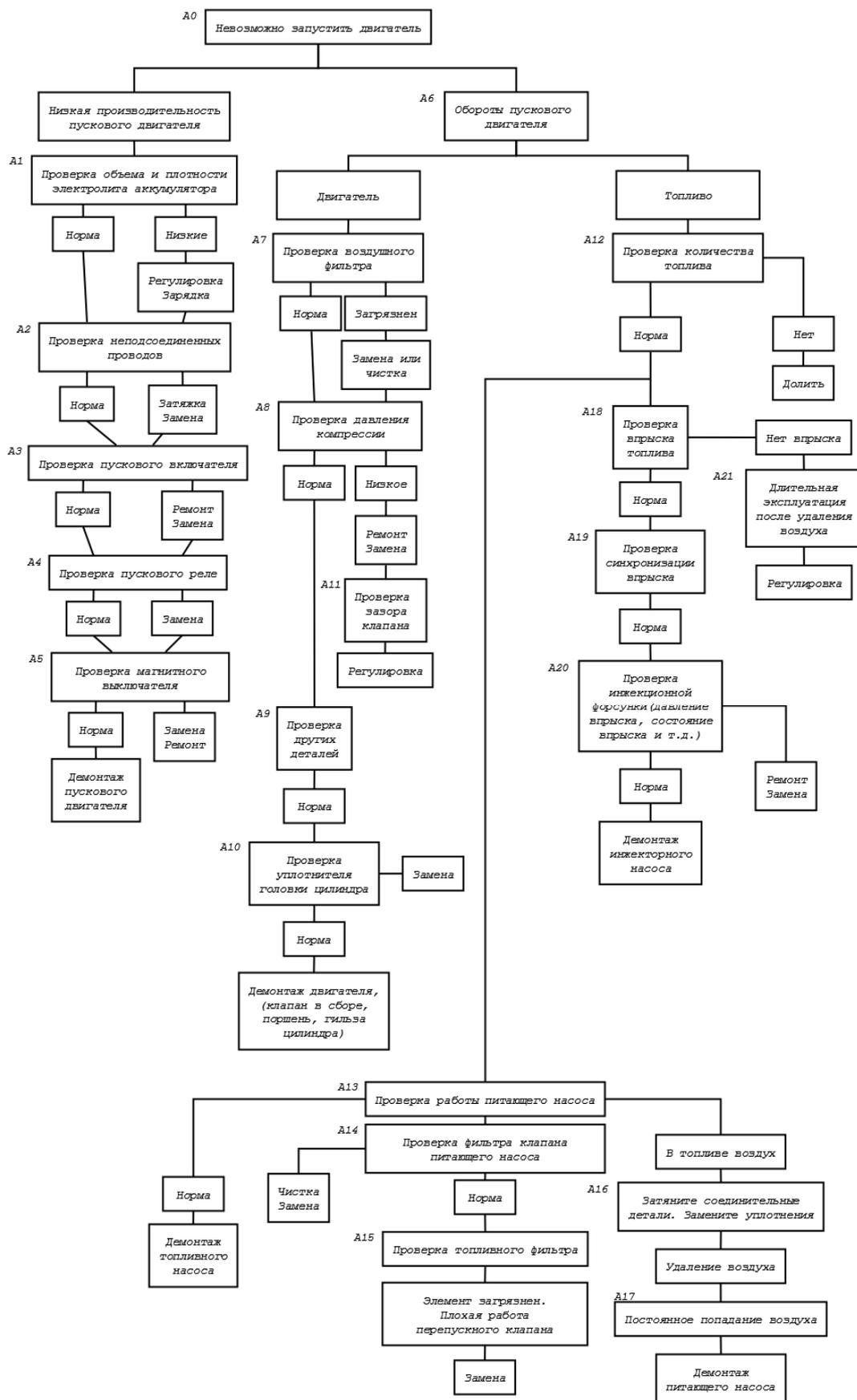
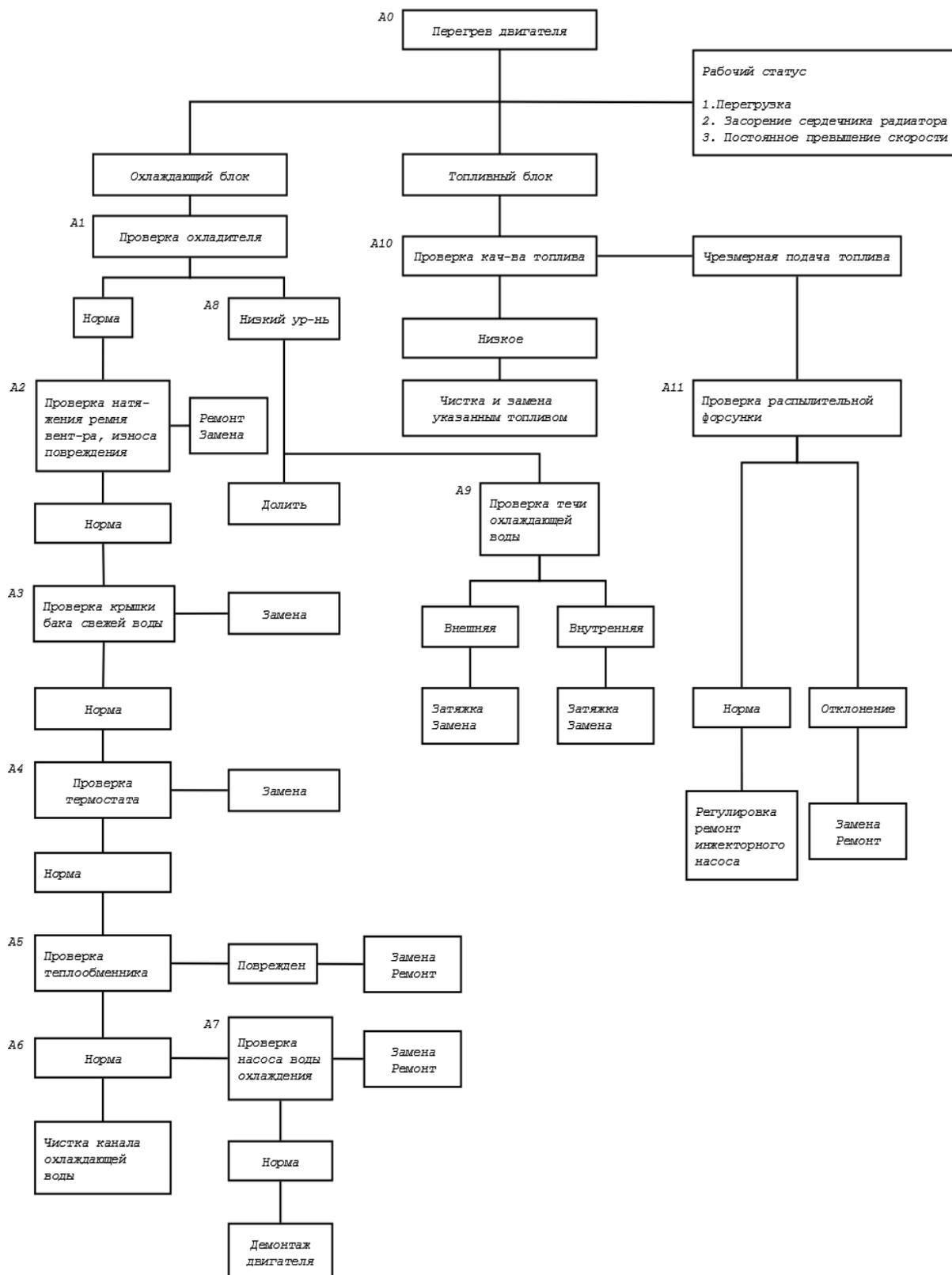
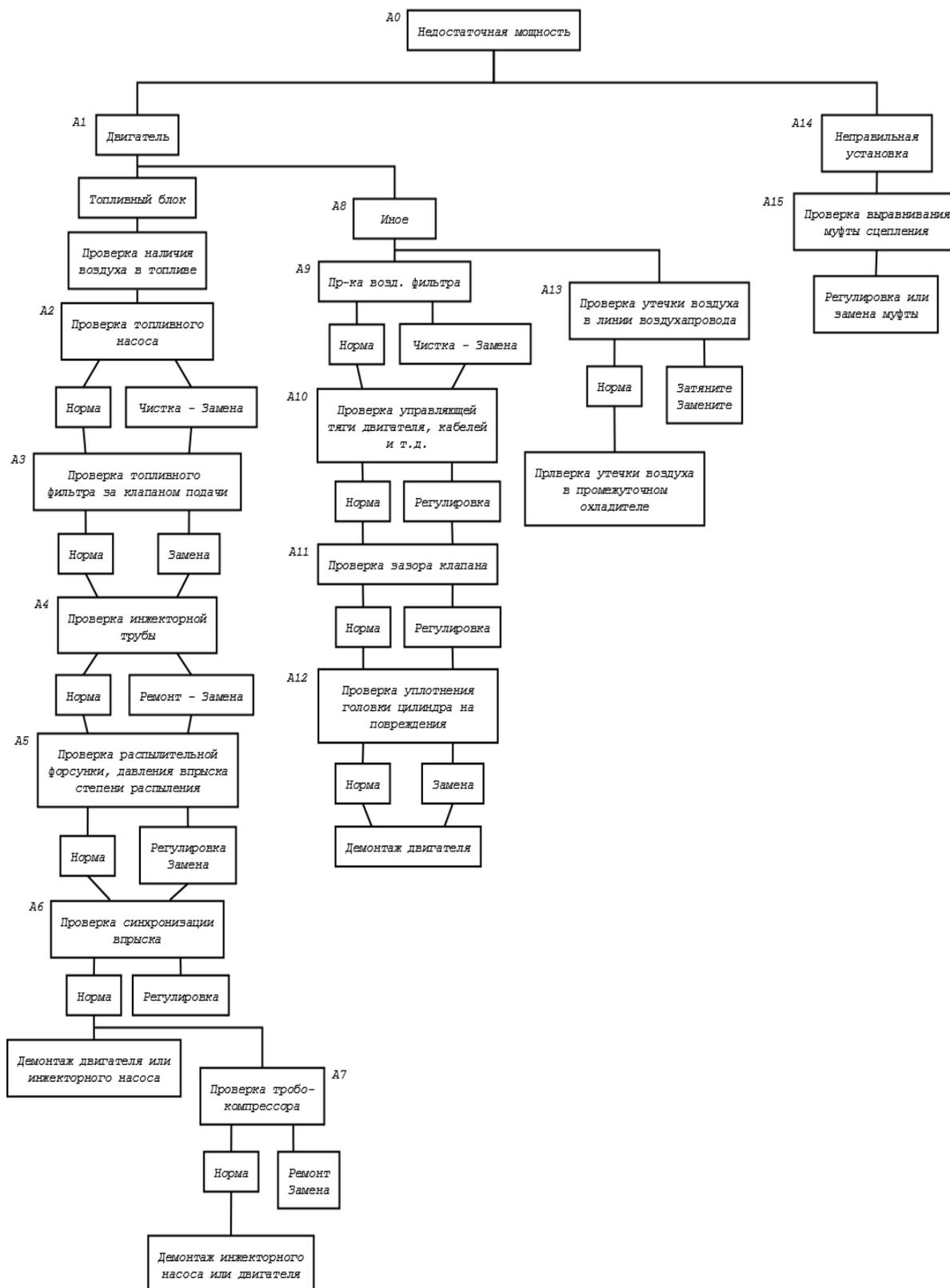


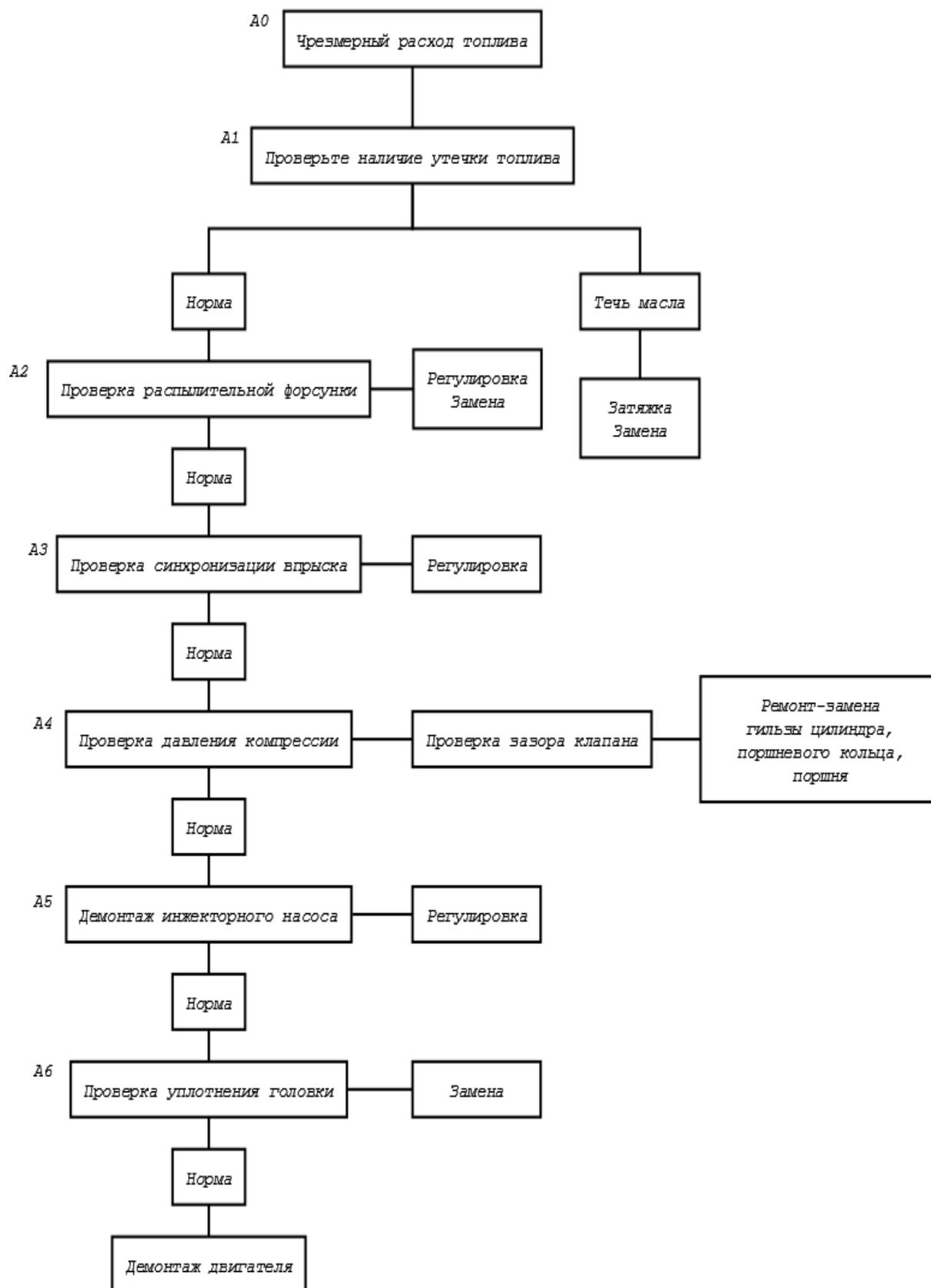
Рисунок 5. Дерево решений для невозможности запуска двигателя



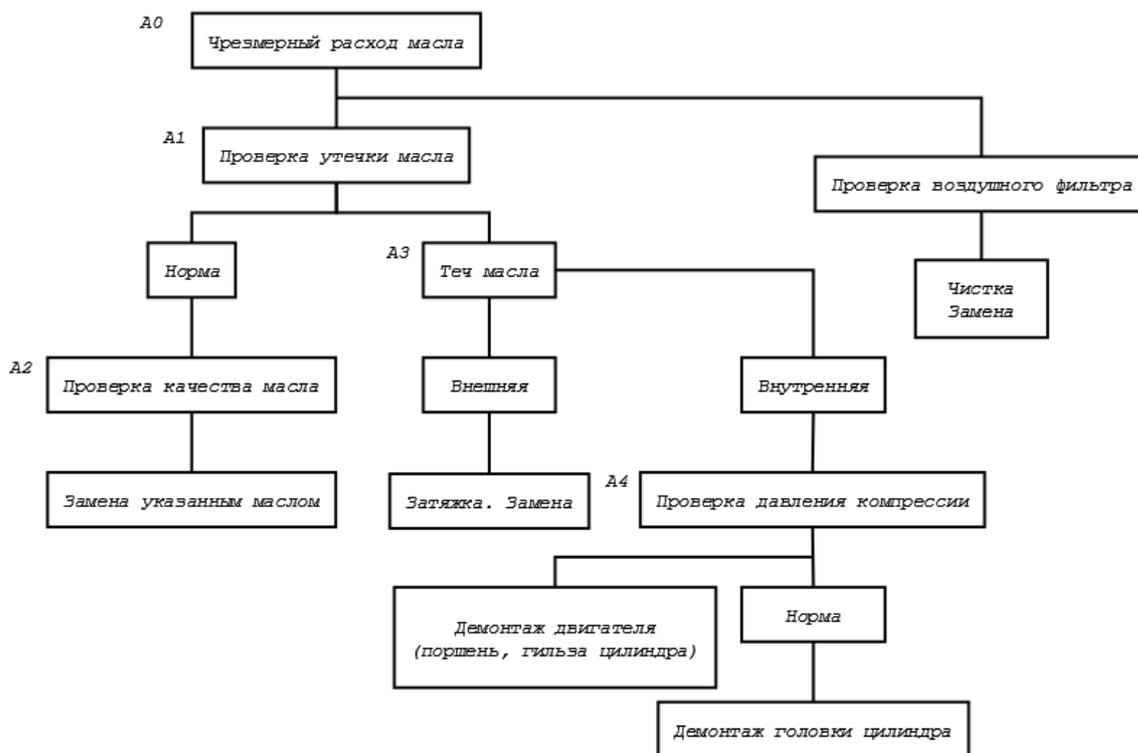
**Рисунок 6. Дерево решений для перегрева двигателя**



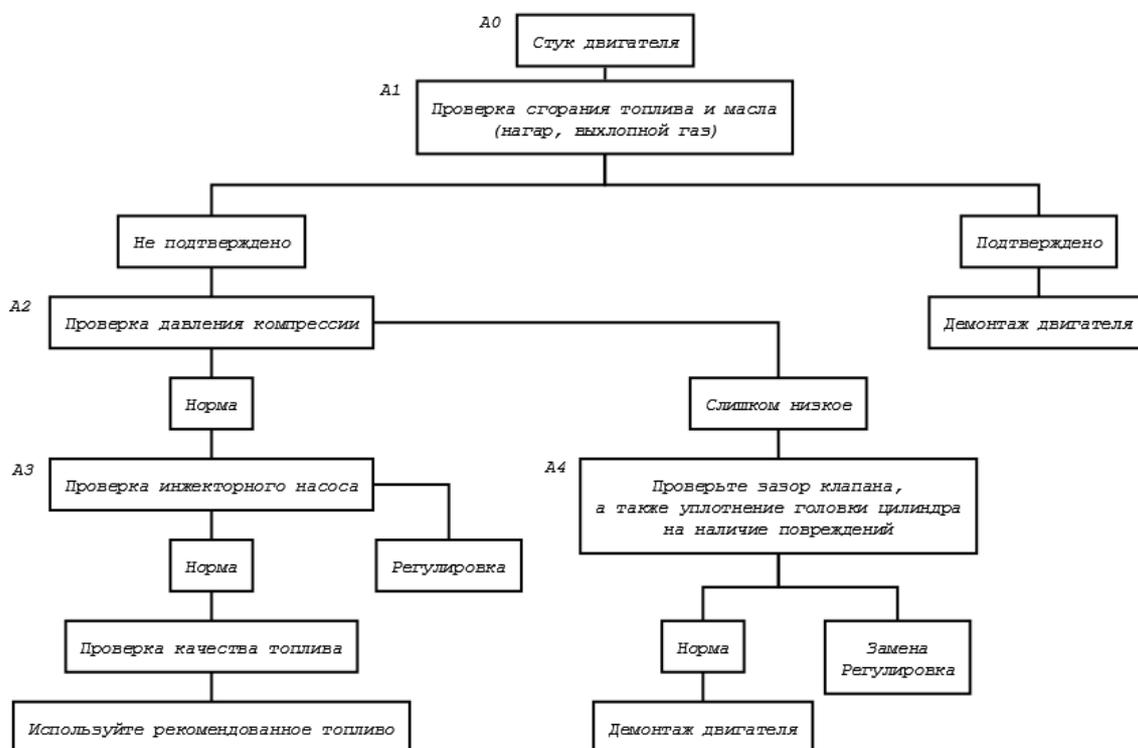
**Рисунок 7. Дерево решений при недостаточной мощности двигателя**



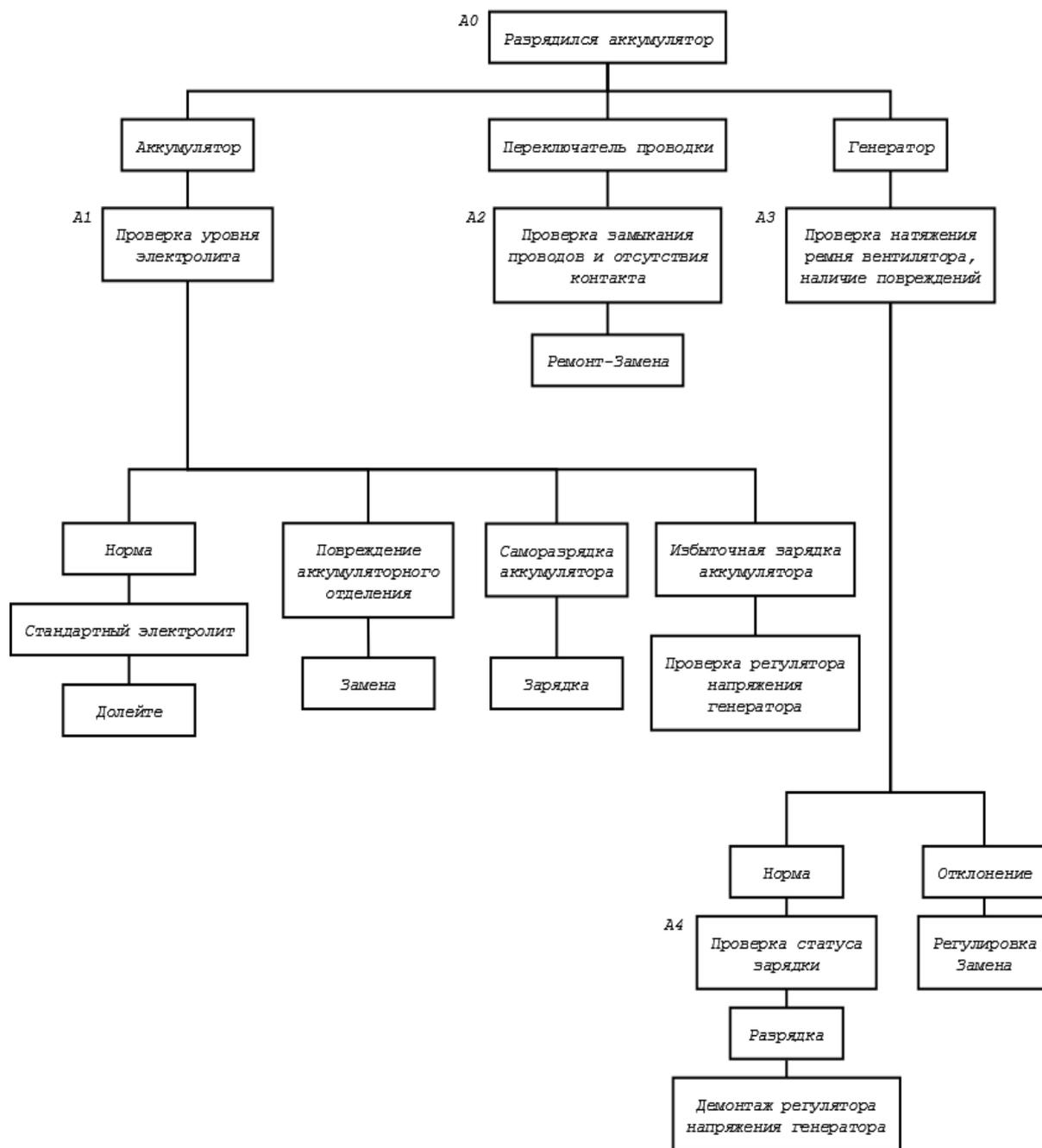
**Рисунок 8. Дерево решений при чрезмерном расходе топлива**



**Рисунок 9. Дерево решений при чрезмерном расходе масла**



**Рисунок 10. Дерево решений при стуке двигателя**



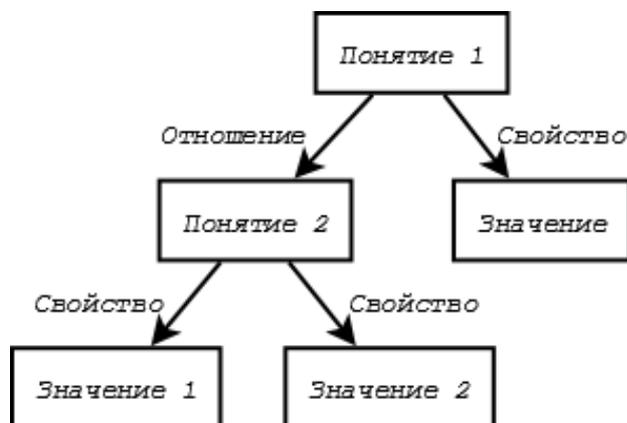
**Рисунок 11. Дерево решений при разрядке аккумулятора**

### **Теоретическая основа построения экспертной системы**

Базовой теоретической основой разрабатываемой экспертной системы являются семантические сети [2, 7].

Под семантическими сетями понимают ориентированный граф, вершинами которого являются понятия, а дугами – смысловые отношения

между ними. Общая структура семантической сети представлена на рисунке 12.



**Рисунок 12. Общая структура семантической сети**

Язык баз знаний экспертной системы диагностики ДДЭ описывается понятиями, отношениями и правилами, описывающими отношения [3, 6].

Понятия и отношения. Структура описания понятия и отношений, следующая:

`<Tag>. <Понятие> # <Отношение 1> | <Отношение 2>;`

Где:

`<Tag>` – идентификатор понятия;

`<Понятие>` – описание понятия;

`#` – символ, разделяющий понятие от отношений;

`<Отношение 1>`, `<Отношение 2>` и т.д. – отношения данного понятия с другими понятием или свойством;

`|` – разделитель отношений.

Правила отношений. Структура правил отношений следующая:

`<Tag>: <Правило 1> | <Правило 2>;`

Где:

`<Tag>` – идентификатор правил, соответствующий идентификатору понятия, отношения которого описывается данным правилом;

<Правило 1> – описание отношения <Отношение 1>;

<Правило 2> – описание отношения <Отношение 2> и т.д.;

| – разделитель правил.

Если в качестве правила указан идентификатор, то это означает, что описанное правило отношения указывает на связь понятия с понятием, идентификатор которого указан в качестве правила. Например, на рисунке 13 «Понятие 1» имеет смысловую связь с «Понятием 2» через «Отношение 1», так как в правиле, описывающем «Отношение 1» указан идентификатор «Понятия 2».

Если в качестве правила указано текстовое описание отношения, то это означает, что отношение указывает на свойство понятия. Например, на рисунке 13 «Отношение 2» характеризует свойство «Значение» первого понятия.

```
1 A1. Понятие 1 # Отношение 1 | Отношение 2;  
2 A2. Понятие 2 # Отношение 1 | Отношение 2;  
3  
4 A1: A2 | Значение;  
5 A2: Значение 1 | Значение 2;
```

**Рисунок 13. Синтаксис языка баз знаний экспертной системы диагностики ДЭ**

### **Объектно-ориентированная модель информационной системы**

Для реализации информационной системы были разработана объектно-ориентированная модель, представленная на UML-диаграмме классов (см. рисунок 14).

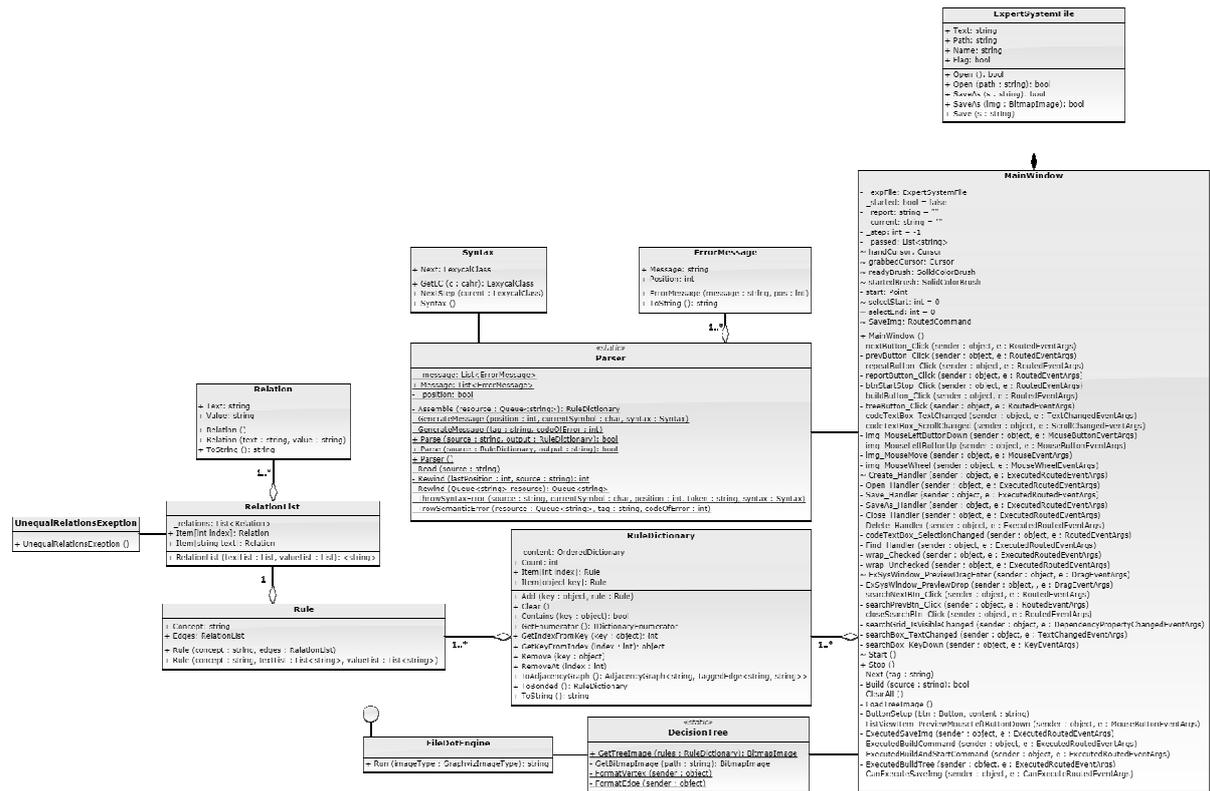


Рисунок 14. UML-диаграмма классов ЭС

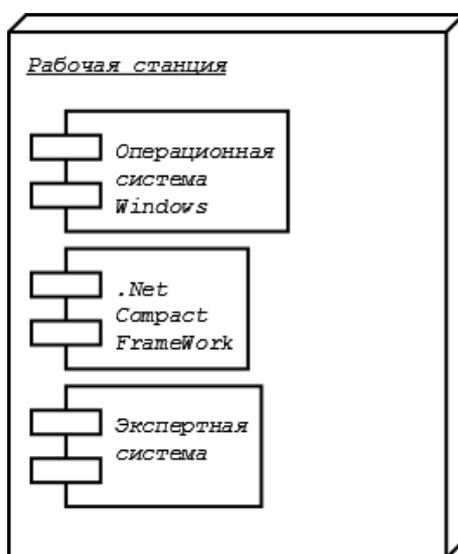
Где:

- *MainWindow* – основной класс программы, который реализует логику взаимодействия пользовательского интерфейса, обработку событий, а также является точкой входа программы.
- *Relation* – представляет пару описание/значение, представляющую отношение;
- *RelationList* – представляет список отношений (*Relation*), доступных по индексу. Поддерживает методы для манипуляций над списком;
- *Rule* – предоставляет пару понятие/отношения (*RelationList*), представляющую правило;
- *RuleDictionary* – предоставляет коллекцию правил в виде пар ключ/значение(*Rule*), доступ к которым можно получить по ключу и по индексу;

- *Syntax* – представляет синтаксис языка баз знаний экспертной системы;
- *Parser* – предоставляет методы анализа и преобразования строки кода в словарь правил (статический);
- *DecisionTree* – предоставляет методы генерации и загрузки изображения дерева решений (статический);
- *ErrorMessage* – вспомогательный класс для *Parser* (хранит сообщения об ошибках).

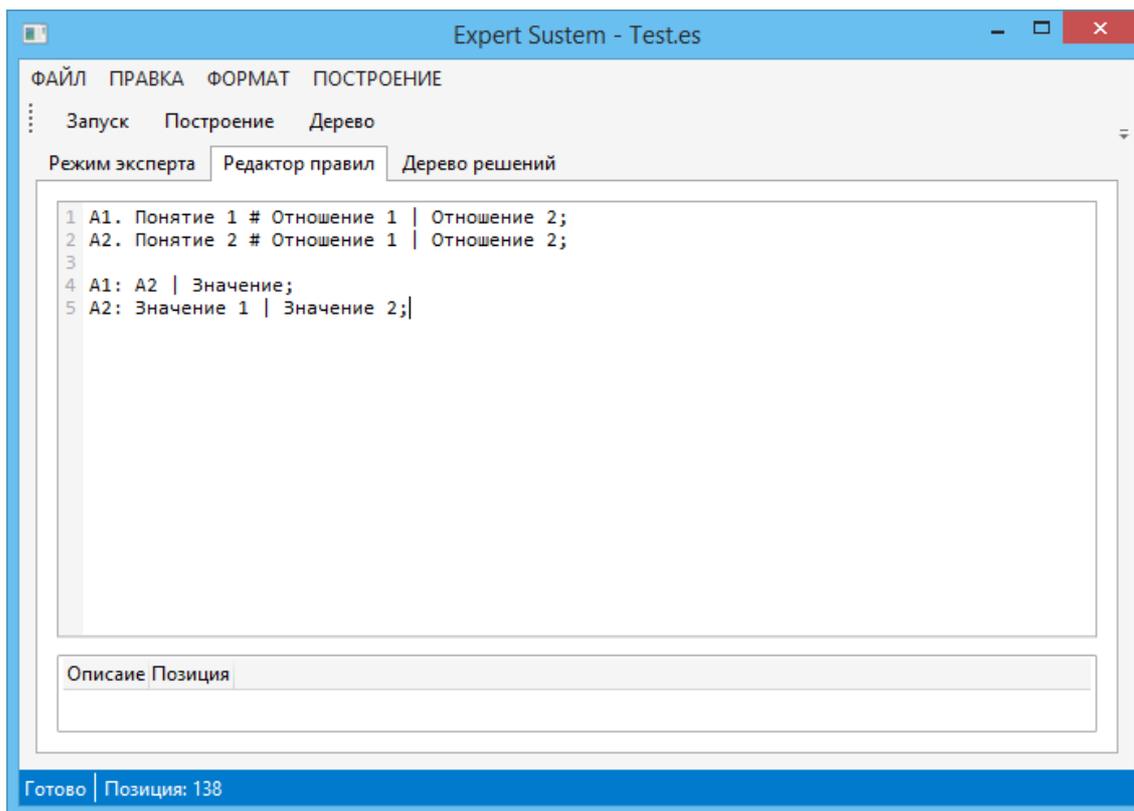
### Развертывание информационной системы

Диаграмма развертывания разработанной системы представлена на рисунке 15 где система состоит из одной рабочей станции, функционирующей на операционной системе *Windows* с предустановленным *.Net Framework 4*.



**Рисунок 15** Диаграмма развертывания ЭС

На основе разработанной системы было создано приложение на языке программирования С# [5, 9, 4]. Общий вид интерфейса приложения представлен на рисунке 16.



**Рисунок 16. Интерфейс приложения экспертной системы диагностики неисправностей ДДЭ**

Созданное приложение обладает следующими функциями:

- создание базы знаний;
- изменение базы знаний;
- сохранение базы знаний в файл;
- открытие базы знаний из файла;
- проверка базы знаний на наличие ошибок;
- построение дерева решений;
- предоставление консультации;
- сохранение отчета по результатам консультации.

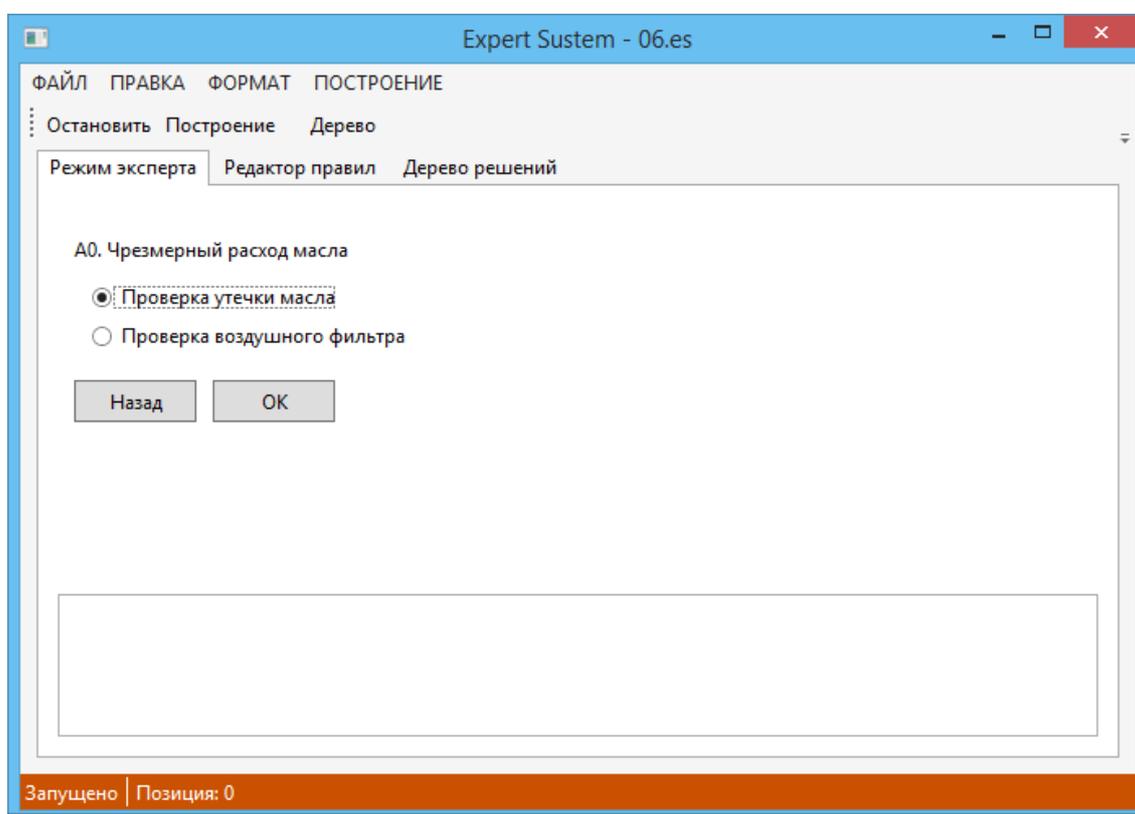
### **Примеры применения**

Использование ЭС диагностики неисправностей ДДЭ на примере неисправности – чрезмерный расход масла.

Для прохождения консультации необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Запустить приложение ExpertSystem.exe.
2. Загрузить соответствующую базу знаний диагностики чрезмерного расхода масла.
3. Для запуска консультации необходимо нажать кнопку «запуск» на панели инструментов.

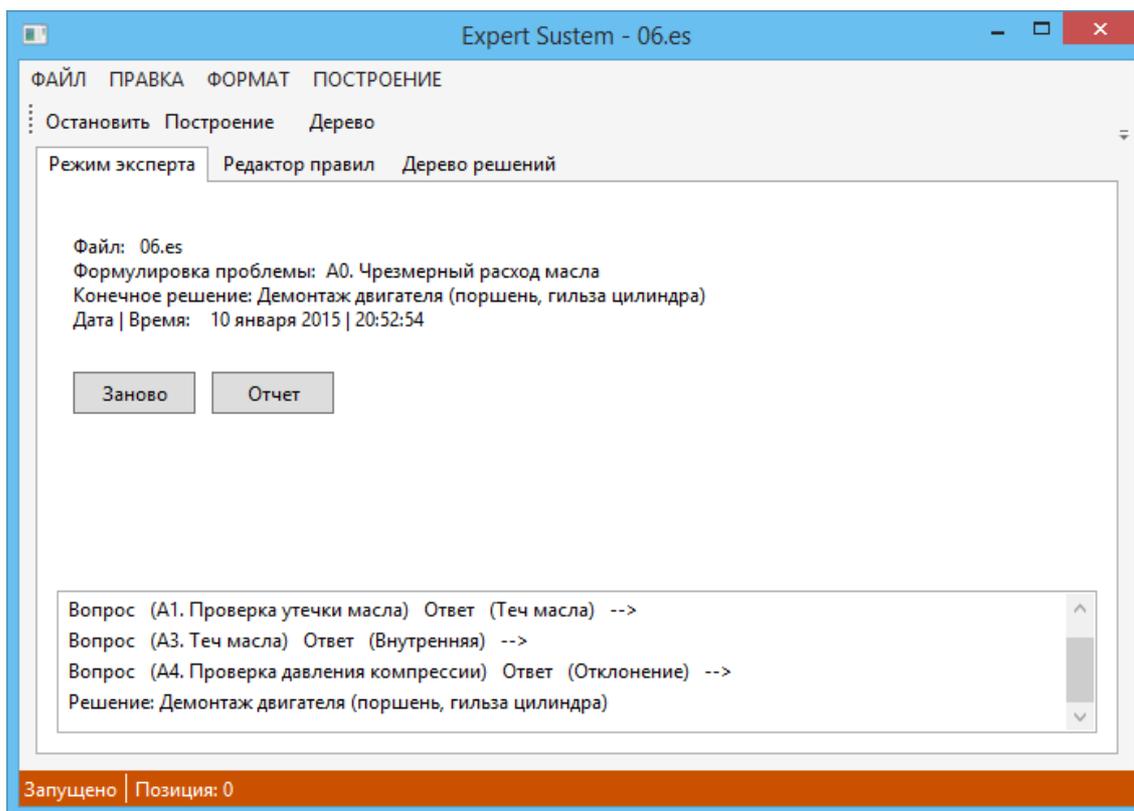
Консультация представляет из себя последовательно задаваемые вопросы, с приведением вариантов ответов на них. Пример прохождения консультации приведен на рисунке 17.



**Рисунок 17. Прохождение консультации в приложении ЭС диагностики неисправностей ДДЭ**

По окончании консультации на основе ответов пользователя система предложит результат – предполагаемую причину неисправности (см. рисунок 18).

Результат можно сохранить в отчет.



**Рисунок 18. Окончание консультации в приложении ЭС диагностики неисправностей ДДЭ**

В нижней части окна приложения на вкладке «Режим эксперта» представлен путь, пройденный по дереву решений, от первого понятия до конечного результата. В данном примере путь прохождения, следующий:

Вопрос (А0. Чрезмерный расход масла)      Ответ (Проверка утечки масла) -->

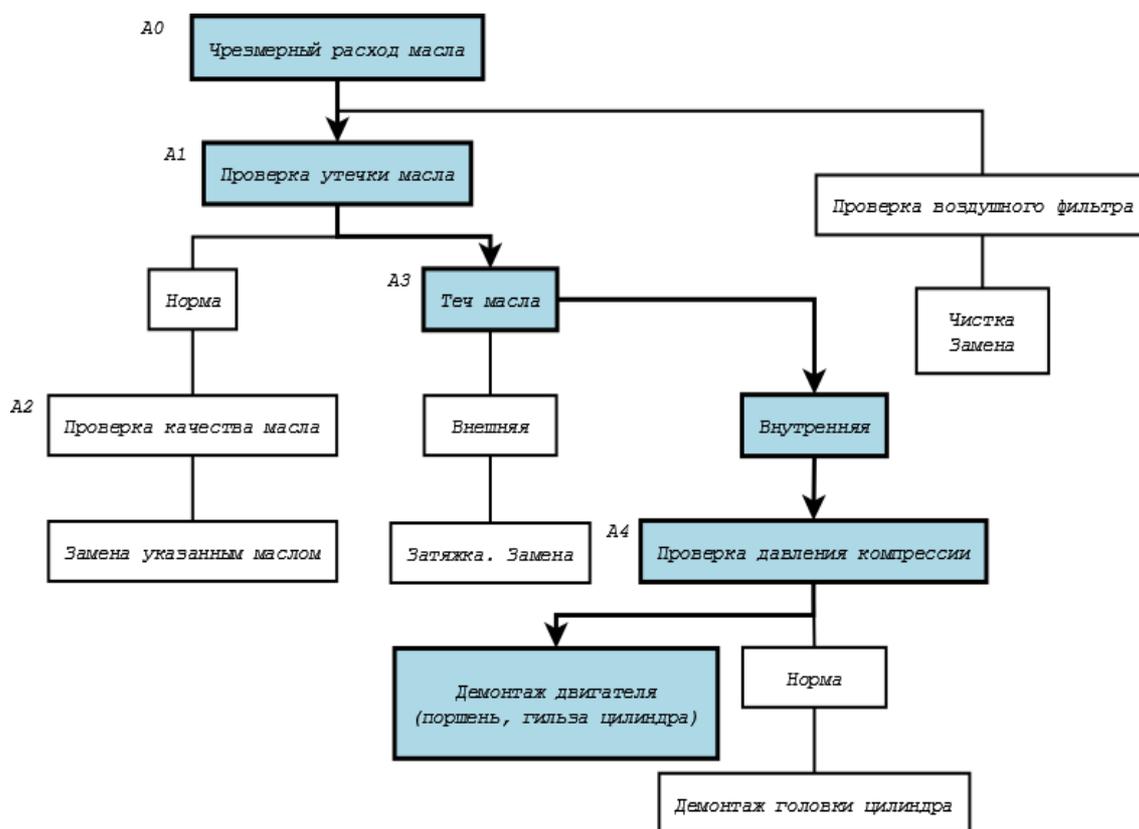
Вопрос (А1. Проверка утечки масла)      Ответ (Теч масла) -->

Вопрос (А3. Теч масла)      Ответ (Внутренняя) -->

Вопрос (А4. Проверка давления компрессии)      Ответ (Отклонение) -->

Результат: Демонтаж двигателя (поршень, гильза цилиндра)

Представленный путь прохождения можно изобразить на дереве решений как показано на рисунке 19.



**Рисунок 19. Пройденный путь по дереву решений неисправности чрезмерного расхода масла**

### Заключение

В результате исследования была создана экспертная система, позволяющая решить проблему диагностики двигателей дизельных электростанций

Для достижения поставленной цели было проведено пред проектное исследование предметной области ЭС диагностики неисправности ДДЭ проблемы отсутствия экспертных систем диагностики двигателей дизельных электростанций, которые выявили объект исследования – ЭС диагностики неисправностей ДДЭ и предмет исследования – теоритическое обоснование и положения разработки экспертная система диагностики неисправностей ДДЭ.

Другой решаемой задачей является разработка принципов реализации семантических сетей в языке программирования C#.

В результате разработки объектно-ориентированной модели экспертной системы были составлены UML-диаграмма классов ЭС и диаграмма развертывания.

На заключительном этапе было разработано приложение экспертной системы на языке программирования C# в среде быстрой разработки *MS Visual Studio*.

Результаты исследований и разработки могут быть использованы персоналом, обслуживающим двигатель дизельной электростанции, для предварительной диагностики неисправностей.

### Литература

1. Брукинг, А. Экспертные системы. Принципы работы и примеры / А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс. – М.: Радио и связь, 1987.
2. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000.
3. Хачатурова, Е. М. Экспертные системы / Е. М. Хачатурова, О. Э. Кимизбаева. — Ташкент: Ташкентский университет информационных технологий, 2006.
4. Тансенд, К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Тансенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990.
5. Джарратано, Джозеф. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Джозеф Джарратано, Гари Райли. – М.: И.Д. Вильямс, 2007.
6. Поспелова, Д. А. Искусственный интеллект / Д. А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.
7. Козин, Р. Г. Экспертные системы / Р. Г. Козин. — М.: МИФИ, 2008.
8. Макаренко, С. И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие. / С. И. Макаренко. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2009.
9. Джексон, Питер. Введение в экспертные системы / Питер Джексон. — М.: И.Д. Вильямс, 2001.

### References:

1. Bruking, A. Jekspertnye sistemy. Principy raboty i primery / A. Bruking, P. Dzhons, F. Koks. – M.: Radio i svjaz', 1987.
2. Gavrilova, T. A. Bazy znaniy intellektual'nyh sistem / T. A. Gavrilova, V. F. Horoshevskij. – SPb.: Piter, 2000.
3. Hachaturova, E. M. Jekspertnye sistemy / E. M. Hachaturova, O. Je. Kimizbaeva. — Tashkent: Tashkentskij universitet informacionnyh tehnologij, 2006.

4. Tansend, K. Proektirovanie i programmaja realizacija jekspertnyh sistem na personal'nyh JeVM / K. Tansend, D. Foht. – M.: Finansy i statistika, 1990.
5. Dzharratano, Dzhozef. Jekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniye / Dzhozef Dzharratano, Gari Rajli. – M.: I.D. Vil'jams, 2007.
6. Pospelova, D. A. Iskusstvennyj intellekt / D. A. Pospelova. – M.: Radio i svjaz', 1990.
7. Kozin, R. G. Jekspertnye sistemy / R. G. Kozin. — M.: MIFI, 2008.
8. Makarenko, S. I. Intellektual'nye informacionnye sistemy: uchebnoe posobie. / S. I. Makarenko. – Stavropol': SF MGGU im. M. A. Sholohova, 2009.
9. Dzhekson, Piter. Vvedenie v jekspertnye sistemy / Piter Dzhekson. — M.: I.D. Vil'jams, 2001.