

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАЛЫХ КОТЕЛЬНЫХ

### SAFETY ASSESSMENT OF MINIBOILERS

V. Tazov  
M. Goryunov  
S. Sharygin  
V. Beginin  
G. Priyatkin

#### Annotation

The analysis of mini boiler equipment failures was made. The results of analysis can be used to assess the reliability of mini boiler equipment.

**Keywords:** industrial safety, mini boiler, directed graph.

**Тазов Виталий Валерьевич**  
Директор ООО "Дефектоскопия и Экспертиза"  
**Горюнов Михаил Александрович**  
Директор  
ООО "Спасательное формирование – "Десант"  
**Шарыгин Сергей Маркелович**  
Директор ООО НП "ЦИД"  
**Бегинин Виктор Александрович**  
Ген. директор. Эксперт.  
ООО "ГСЭ–Оренбург"  
**Прияткин Георгий Викторович**  
Эксперт ООО "Интеграл–эксперт"

#### Аннотация

Проведен анализ отказов оборудования малой котельной, показано, что наиболее опасны отказы системы контроля и автоматики и системы дренажа избыточной воды, так как они приведут к снижению надёжности другого оборудования. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при оценке степеней надежности оборудования малых котельных, проведения комплекса технических мероприятий по повышению безопасности функционирования оборудования малых котельных.

#### Ключевые слова:

Промышленная безопасность, малые котельные, оргграф.

**В** настоящее время одним из путей децентрализации муниципальных систем теплоснабжения является строительство и эксплуатация газовых мини-котельных. Мини-котельные, предназначенные для отопления и горячего водоснабжения, являются важным объектом жизнеобеспечения населения. Однако, при их эксплуатации возможны аварийные ситуации, различные отказы оборудования, что обуславливает негативное воздействие на окружающую среду и конечного потребителя. В этой связи обеспечение безопасности мини-котельных является актуальным.

Анализ вероятностей отказов различного оборудования мини-котельной (величина вероятности отказа, причины, вызывающие отказ) позволяет с помощью теории графов построить модель надёжности оборудования котельной.

Оборудование котельной представлено в виде элементов системы "мини-котельная", предназначенной для отопления и горячего водоснабжения муниципальных образований. Элементы системы связаны между собой путем передачи друг другу вещества и энергии. Так, напри-

мер, все электрическое оборудование связано системой заземления и подачи питания, а природный газ проходит последовательно через цепочку элементов: газоход – газораспределительное устройство – котел. Практически по всей системе циркулирует вода для различных нужд: подогрев, охлаждение, подпитка и, главное, транспорт горячей воды конечному потребителю.

Циркулирующие по системе потоки вещества и энергии обеспечивают постоянное взаимодействие образующих её элементов. Поэтому внешние воздействия, причинив повреждения одним элементам системы, окажут влияние на показатели качественного состояния (надёжности) элементов, не подвергшихся влиянию этого воздействия непосредственно [1].

Для мини-котельной внешними воздействиями являются:

- ◆ нарушение правил эксплуатации;
- ◆ разгерметизация уплотнительных узлов;
- ◆ износ материала;
- ◆ дефект изготовления и др.

Например, отказ приборов контроля и автоматики вследствие дефекта при изготовлении или перебоя в электроснабжении может стать причиной отказа технологического оборудования (котла, дымохода или насосов). То есть повышение нагрузки будет наблюдаться не только у тех элементов системы, которые оказались под влиянием внешних воздействий, но и у элементов, взаимодействующих (связанных) с ними, что приведет к снижению надежности у последних. Ориентированный граф потоков вещества и энергии в системе "мини-котельная" приведен на рис. 1.

Необходимо отметить, что рассмотрены только те нагрузки, которые не являются нормативными, т.е. учитываемыми при проектировании и эксплуатации котельной. Нормативные нагрузки не должны приводить к повреждениям, резко ухудшающим надежность элементов системы.

Элементы системы "мини-котельная" связаны между собой таким образом, что появление внешнего воздействия приводит к распространению импульса по всей

структуре системы. При этом импульс воздействия, уменьшает как показатели надежности отдельных элементов системы, так и всей системы в целом. Импульсное воздействие передается от одного элемента к другому лишь частично, то есть в процессе распространения воздействия происходит его затухание. Для формального отражения этой ситуации использован аппарат дискретной математики и теория графов[2].

Согласно теории орграфов в случае изменения надежности одного из элементов системы (в данном случае отказа определенного оборудования) импульсное воздействие распространится далее по системе (т. е. произойдет снижение надежности другого оборудования). Этот процесс математически описывается следующим образом.

Импульсное воздействие определяется импульсом

$$imp_j(t), j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

в дискретном времени  $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ , который задает-

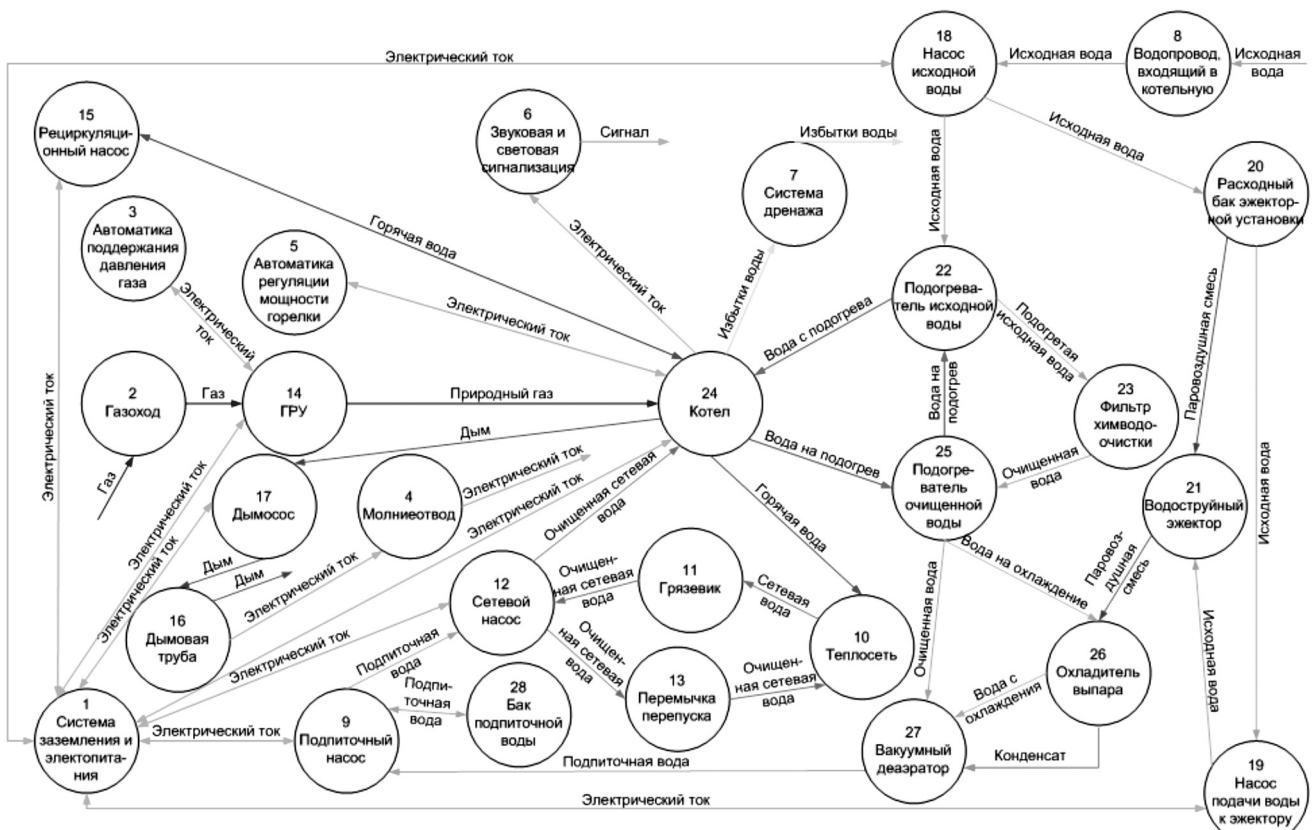


Рисунок 1. Ориентированный граф потоков вещества и энергии в системе "мини-котельная".

ся разностью:

$$imp_j(t) = w_j(t) - w_j(t-1) , \text{ при } t > 0 \quad (1)$$

где  $j$  – номер дуги;

$$w_j = 1 - P_{отказа} , \quad (2)$$

$w_j$  – надёжность оборудования;

где  $P_{отказа}$  – и вероятность отказа оборудования.

Тогда для  $t \geq 0$  для  $i$ -ой вершины графа импульсное воздействие составит:

$$w_i(t+1) = w_i(t) \sum_{j=1}^{degv_i} \epsilon_{ji} imp_j(t) \quad (3)$$

полагая при этом, что  $degv_i$  – число входящих в вершину  $v_i$  дуг.

На рис. 2 представлен оргграф надежности оборудования малой котельной. Доля передачи импульса на дугах оргграфа обозначает ту часть импульса, которая переходит от одних элементов к другим. В узлах же оргграфа приведены наименование конкретного оборудования, его порядковый номер и его надежность (число в скобках).

Для повышения надежности систем и их элементов, не представляется возможным продублировать все элементы системы, предполагающие попадание под внешнее влияние (дублирование котлов, газопроводов, систем автоматики). Поэтому требуется изучить реакцию системы на "стороннее" влияние, найти наиболее уязвимые "места" системы и рекомендовать их к резервированию или предусмотреть мероприятия по предупреждению/снижению внешнего воздействия.

Для достижения этой цели важно определить динамику распространения внешнего воздействия по системе [2].

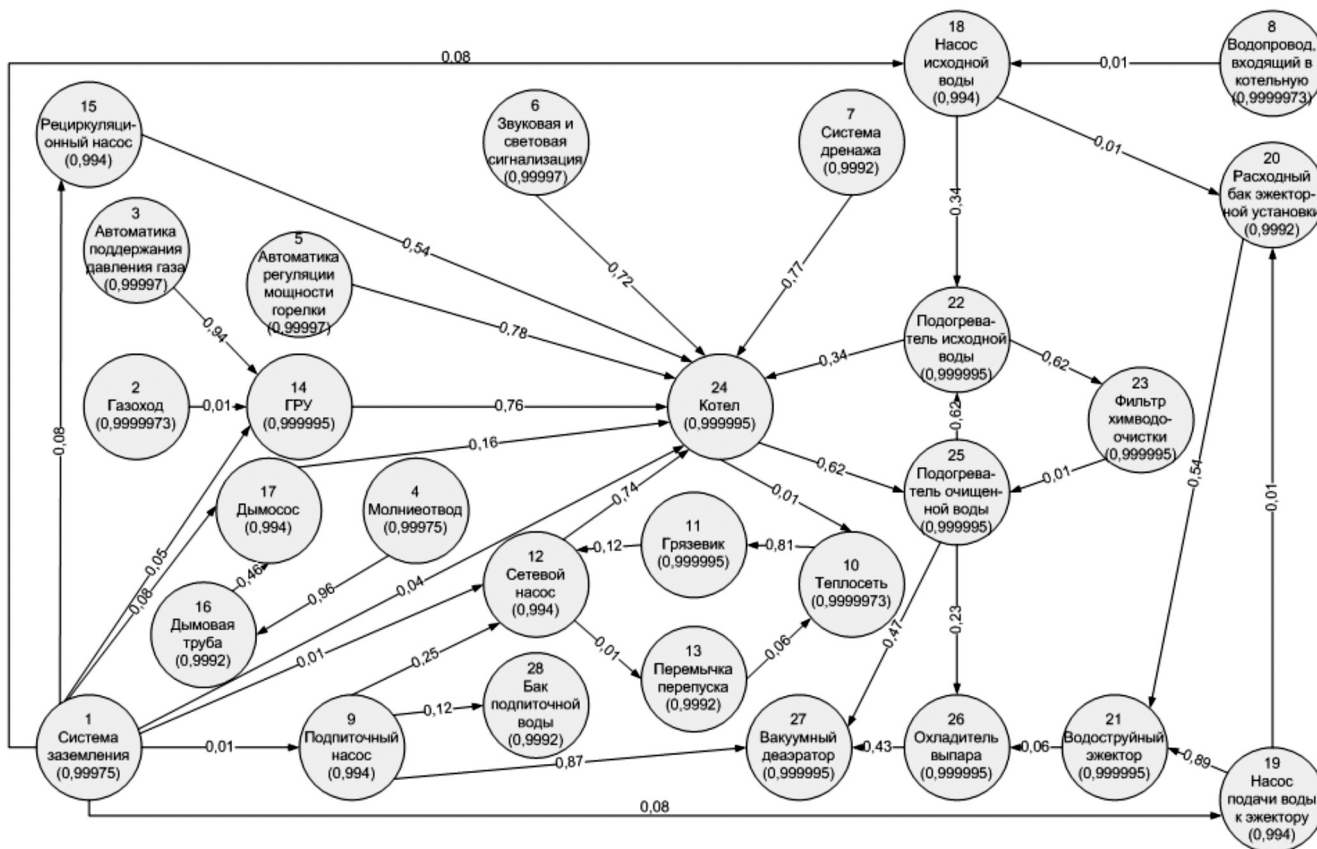


Рисунок 2. Ориентированный граф оценки надежности оборудования мини-котельной.

На основании оценки импульсного воздействия для орграфа надёжности оборудования мини-котельной, представленного на рисунке 2, смоделированы ситуации отказа каждого из устройств (элементов) котельной:

- ◆ системы заземления;
- ◆ газохода;
- ◆ автоматики поддержания давления газа;
- ◆ молниеотвода;
- ◆ автоматики регуляции мощности горелки;
- ◆ звуковой и световой сигнализации;
- ◆ системы дренажа избыточной воды;
- ◆ входного водопровода;
- ◆ подпиточного насоса и др.

Результаты анализаснижения надёжности оборудования вследствие отказа системы заземления приведены на рис. 3.

Несмотря на то, что система заземления и электро-снабжения взаимодействует практически со всеми остальными элементами системы, ее отказ не приведет к



Экспертиза промышленной безопасности котельной.

снижению надёжности других элементов до критического значения (принятого, согласно литературным источникам, равным 0,6).

Снижение надёжности элементов мини-котельной вследствие отказа сигнализации будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

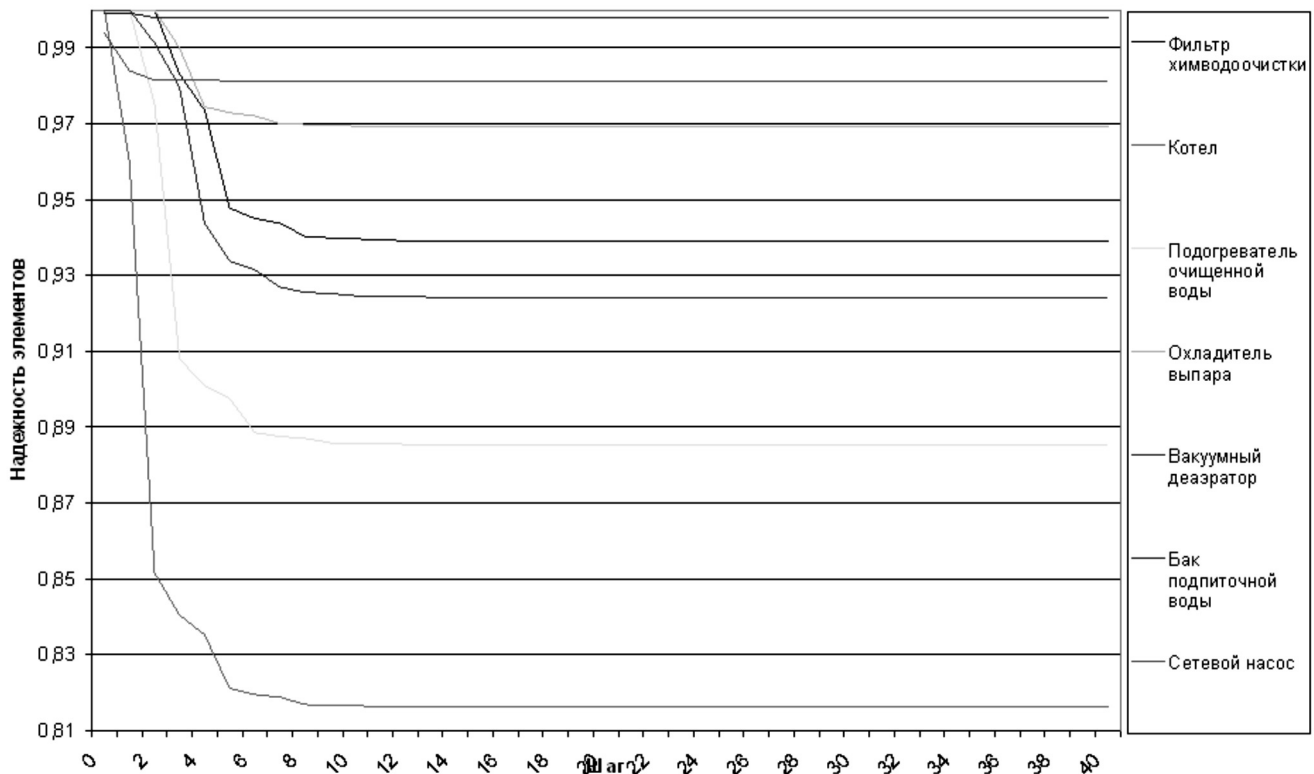


Рисунок 3. Результаты анализаснижения надёжности оборудования вследствие отказа системы заземления.

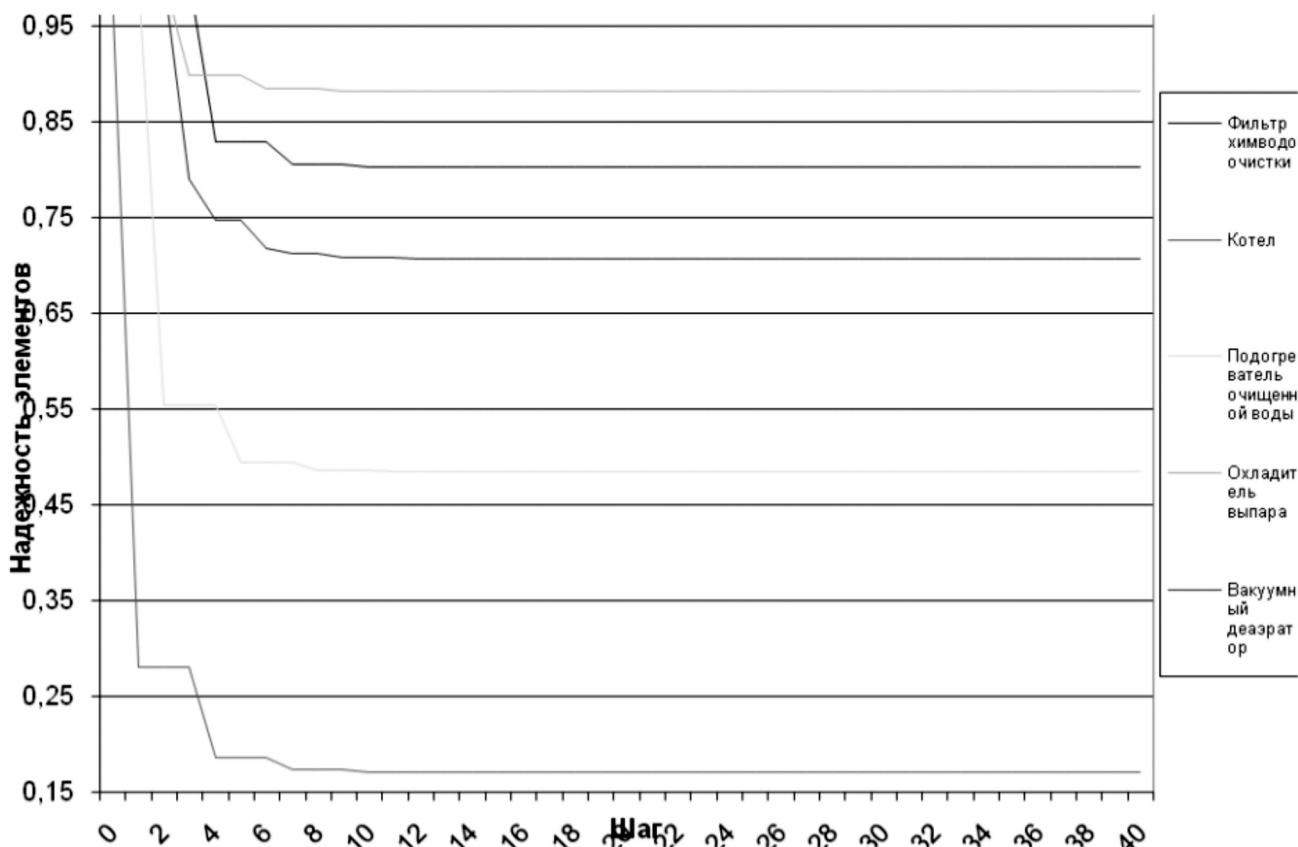


Рисунок 2. Ориентированный граф оценки надежности оборудования мини-котельной.

Сигнализация, в отличие от заземления, взаимосвязана напрямую лишь с котлом, однако, как видно из рисунка 4, ее отказ приведет к более серьезным последствиям: надежность подогревателя снизится до 0,48, а котла – до 0,17.

Таким образом, проведенный анализ отказов оборудования малой котельной показывает, что наиболее

опасны отказы системы контроля и автоматики и системы дренажа избыточной воды, так как они приведут к снижению надёжности другого оборудования. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при оценке степеней надежности оборудования малых котельных, проведения комплекса технических мероприятий по повышению безопасности функционирования оборудования малых котельных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 187с.
2. Куюнджич С.М. Разработка и анализ моделей надежности и безопасности систем. – М.: Физматлит, 2001. – 387с.