

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,  
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ  
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КИСЛОТНОГО ЧИСЛА ОГНЕСТОЙКИХ  
ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СИСТЕМАХ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭС**

© 2023 г. А. В. Охлопков<sup>а</sup>, \*, Д. В. Шуварин<sup>а</sup>, К. А. Орлов<sup>б</sup>, В. Ф. Очков<sup>а</sup>, А. В. Рыженков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,  
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

<sup>б</sup>ООО “Триеру”, ул. Лефортовский Вал, д. 16 А, Москва, 111250 Россия

\*e-mail: OkhlopkovAV@mpei.ru

Поступила в редакцию 10.09.2022 г.

После доработки 14.05.2023 г.

Принята к публикации 15.05.2023 г.

Огнестойкие жидкости и смазки — это продукты, которые используются в различных отраслях промышленности для обеспечения надежности и безопасности оборудования, работающего в условиях высоких температур, давления и воздействия огня. За последние 30–50 лет на мировом рынке появились промышленные огнестойкие жидкости, которые обладают высокой термической стабильностью и при этом не воспламеняются при контакте с огнем. Представлены результаты многолетних исследований таких жидкостей при эксплуатации в системах автоматического регулирования паровых турбин (ПТ) конденсационных и теплофикационных энергоблоков ТЭС, расположенных в различных регионах России и за рубежом (было проанализировано более 50 жизненных циклов указанных жидкостей). Описаны причины использования синтетических соединений в энергетике, их отличия от нефтяных масел, сформулированы тенденции и перспективы применения негорючих жидкостей в Европе и России. Целями исследования были определение наиболее существенных причин сокращения нормативных сроков эксплуатации огнестойких жидкостей и разработка методики определения качества продукта и прогнозирования жизненного цикла таких жидкостей (о методике будет сообщено в следующей публикации авторов). Промежуточными задачами исследования были обоснование аппроксимирования полученных в результате сбора исходных данных и категорирование объектов, на которых используются эти жидкости. Проведен анализ изменения эксплуатационных характеристик огнестойких жидкостей при их работе в системах регулирования паровых турбин различного типа на разных ТЭС. Выполнен обзор наиболее значимых факторов, влияющих на продление эксплуатационного ресурса огнестойких жидкостей, проанализированы меры предотвращения ухудшения их качества (регенерация, применение маслоочистительных установок, доливки и т.д.).

*Ключевые слова:* огнестойкие жидкости, система автоматического регулирования, паровые турбины, кислотное число, потенциал лакообразования, маслоочистительные установки, ионный обмен

**DOI:** 10.56304/S0040363623110115

Пожарная опасность в масляных системах смазки и регулирования паровых турбин большой мощности тепловых электростанций связана с применением смазочных жидкостей (масел) на нефтяной основе. В целях снижения риска возникновения пожаров с середины прошлого века в мире применяются негорючие или огнестойкие жидкости, имеющие синтетическую основу [1]. По химической природе такие жидкости подразделяют на следующие классы:

- гликоли, полигликоли и их эфиры, содержащие воду;
- хлорированные ароматические углеводороды;
- полные эфиры фосфорной кислоты;
- силиконовые жидкости.

В начале исследований по данной теме, например, в США, кроме разработки хлорированных ароматических углеводородов и полных эфиров фосфорной кислоты, проводились испытания смесей этих соединений, в том числе композиций с примесями нефтяных (минеральных) масел. В СССР испытывались фосфорные эфиры, а также их смеси с полиметилсилоксанами. Результаты исследований принципиально доказали возможность создания и использования в системах смазки и регулирования паровых турбин синтетических огнестойких жидкостей. Наибольшее распространение в мире получили огнестойкие масла на основе триксиленилфосфатов — синтетические жидкости, образующиеся

в результате реакции оксихлорида фосфора с различными замещенными фенолами. Необходимо отметить характерные отличия синтетических огнестойких жидкостей на основе арилфосфатов от нефтяных аналогов: увеличенную токсичность, повышенную плотность, отрицательное воздействие на некоторые уплотнительные материалы турбин и твердую изоляцию генераторов, ухудшенную деаэрационную способность и др. С учетом регламента REACH при использовании ксиленолов в странах Евросоюза в последние годы предпринимаются попытки наладить промышленное производство *трет*-бутилированных трифенилфосфатов [2, 3].

Важная задача при эксплуатации энергетических масел – сохранение на определенном уровне показателей качества масла в течение длительного времени. Имеющийся опыт использования масел позволяет сделать вывод об их существенном влиянии на эффективность работы тепломеханического оборудования. Повышение надежности масляных систем, увеличение срока службы смазочных жидкостей, применение отечественной продукции в данной сфере – крайне важные научные и производственные задачи.

В [4] был проанализирован опыт применения огнестойких жидкостей в системах автоматического регулирования паровых турбин энергоблоков ПГУ на ТЭС России. Цель исследования состояла в выявлении факторов, влияющих на ресурс огнестойких жидкостей. Были проанализированы объемы химического контроля качества огнестойких жидкостей в различных энергетических компаниях. Значительное внимание было уделено исследованию изменения эксплуатационных характеристик огнестойких жидкостей в процессе работы в системах автоматического регулирования паровых турбин на ТЭС России. Кроме того, был приведен перечень наиболее значимых факторов, определяющих эксплуатационный ресурс огнестойких жидкостей, проанализированы мероприятия по предотвращению ухудшения их качества (очистка, доливки и т.д.). Итогами работы [4] стали предложения о проведении масштабной унификации применения огнестойких жидкостей, выполнении исследований возможности смешения различных смазочных жидкостей и замещения импортных жидкостей отечественными аналогами.

Единственным нормативно обоснованным критерием отбраковки огнестойких масел [5, 6] (за исключением стандартов организаций, выпущенных некоторыми генерирующими компаниями, в которых предусматриваются более широкие подходы к отбраковке) в настоящее время является кислотное число  $K$ . Кислотное число – это интегральный показатель степени очистки огнестойких жидкостей от кислотных составляющих, которые являются коррозионно-активными ве-

ществами. Для огнестойких жидкостей  $K$  является одним из показателей полноты проведения этапа этерификации.

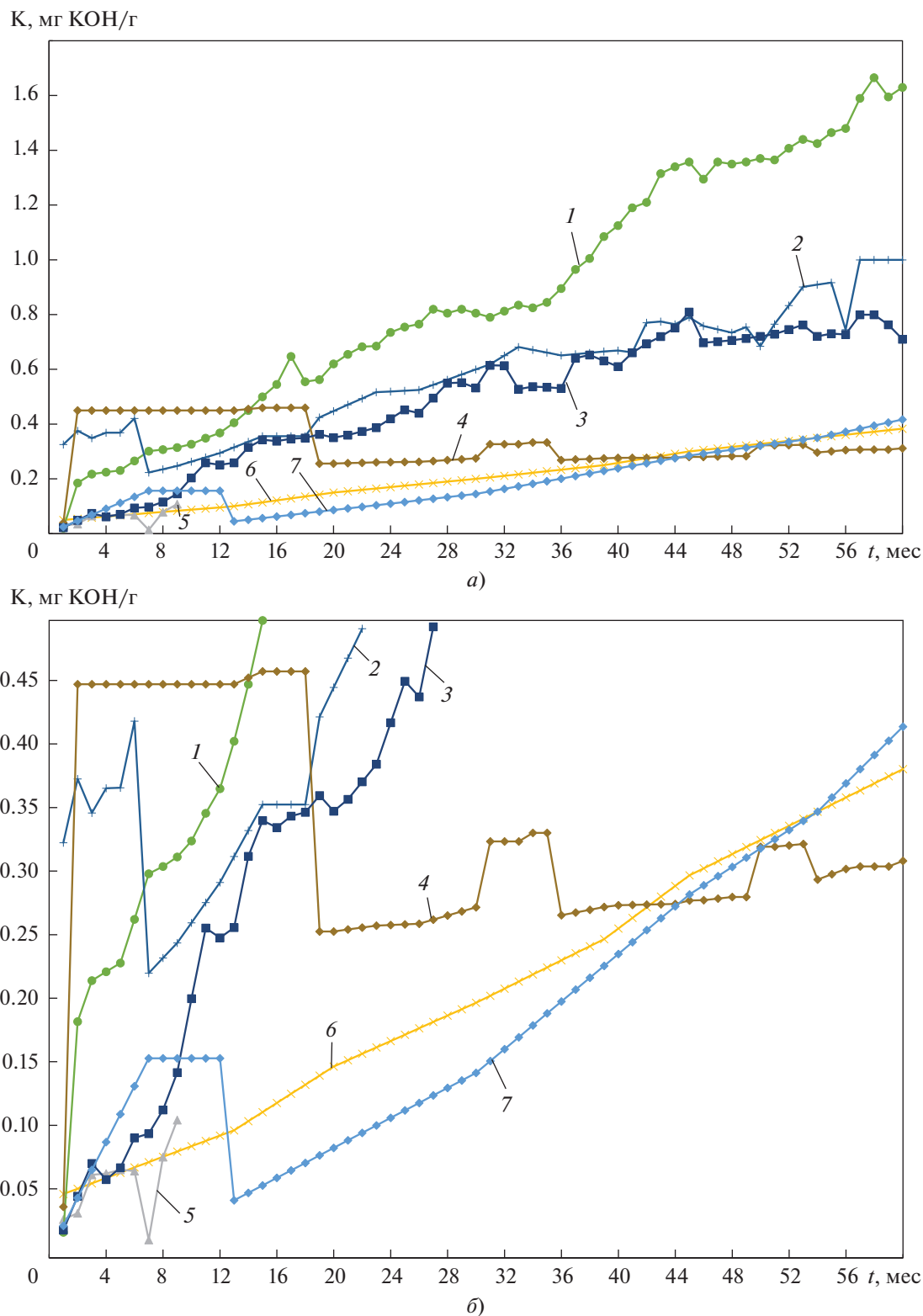
На рис. 1 представлены зависимости кислотного числа от продолжительности работы оборудования  $t$  следующих огнестойких жидкостей: ОМТИ – огнестойкое масло теплотехнического института (технология изготовления разработана сотрудниками Всероссийского теплотехнического института), Reolube ОМТИ, Fyrquel L и изготовленной в компании “Созидание”. На рисунке отмечаются увеличение кислотного числа и его уменьшение в отдельные периоды. Увеличение кислотного числа вызвано тем, что в процессе эксплуатации вследствие гидролиза триарилфосфатов повышается концентрация диарилфосфатов, близких по свойствам к фосфорной кислоте [7]. Снижение  $K$  происходит в результате очистки огнестойкой жидкости от продуктов старения или доливок ее в систему.

В научной литературе с 1970-х годов обращается внимание на два характерных участка экспоненциального изменения  $K$  любых смазочных или гидравлических жидкостей (нефтяного или синтетического происхождения): практически линейный участок роста и резкое, скачкообразное изменение [8, 9]. Так как важной задачей исследования является прогнозирование времени резкого ухудшения эксплуатационных характеристик огнестойких жидкостей (т.е. до участка резкого роста  $K$ ), далее для аппроксимации зависимостей изменения  $K$  используется линейная функция. Целесообразность и необходимость построения линейных аппроксимационных зависимостей подтверждается характером изменения  $K$  в соответствии с собранными авторами статистическими данными по 22 энергоблокам (по два–три цикла работы разных огнестойких жидкостей на каждом энергоблоке) за последние 10–15 лет в различных энергосистемах.

Были выделены две крупные категории электростанций с разными режимами эксплуатации и соответствующими различиями в характере изменения кислотного числа в результате многолетней эксплуатации.

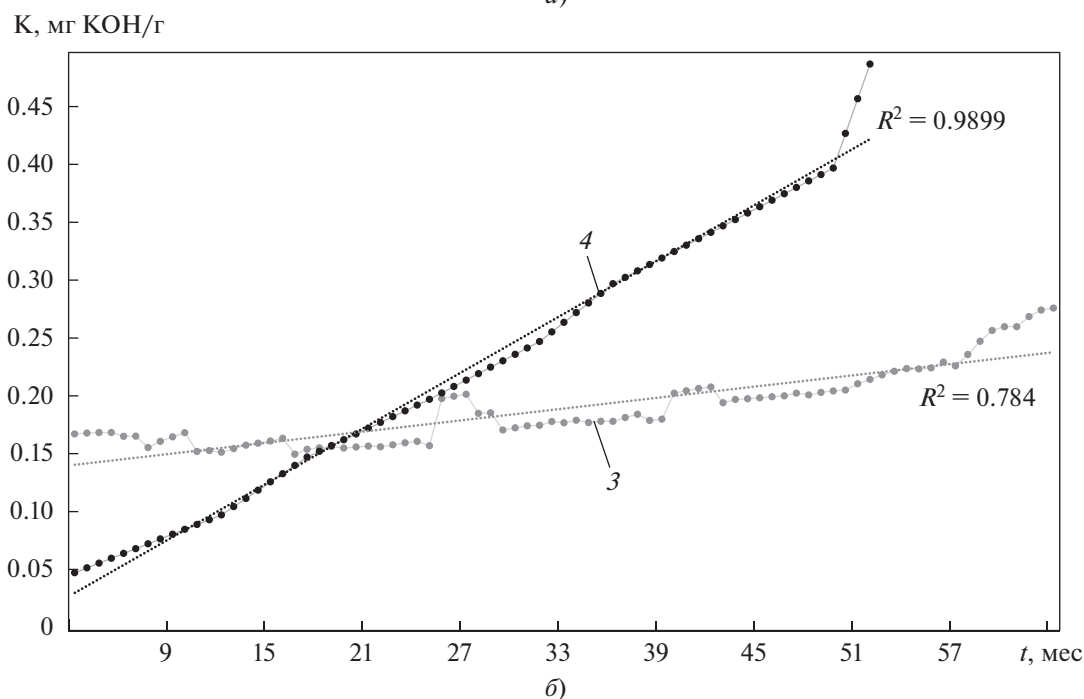
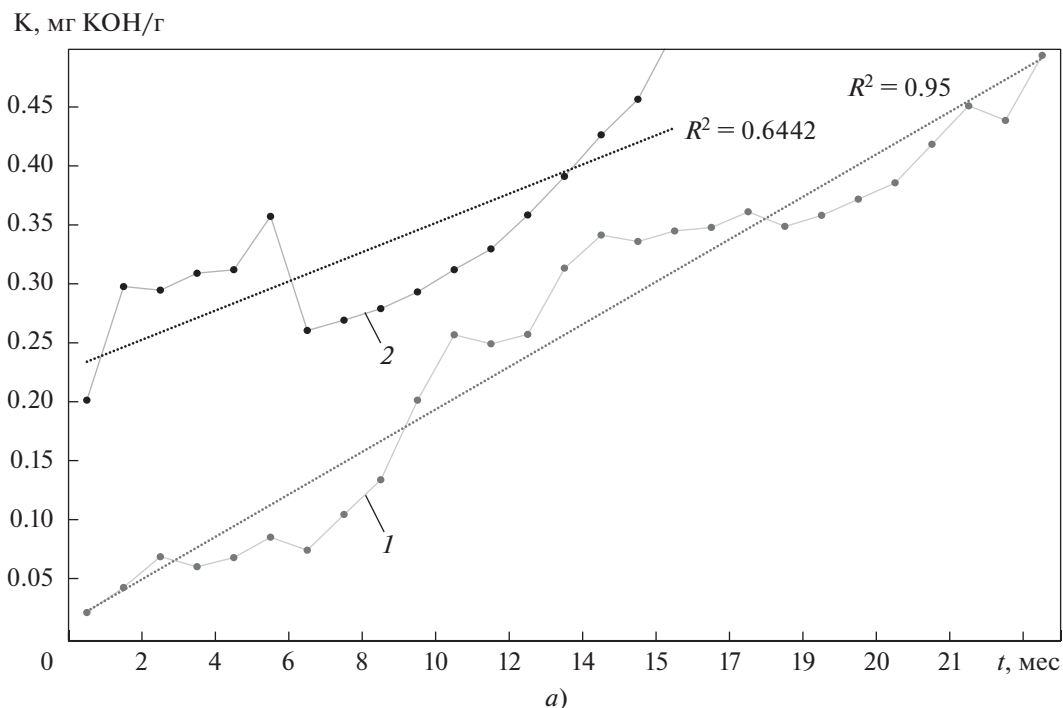
На рис. 2 приведены зависимости кислотного числа от продолжительности работы, наглядно демонстрирующие его изменение при отсутствии систематической комплексной очистки огнестойких жидкостей на предприятиях энергетических компаний № 1, 3 (электростанции с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии) и энергетической компании № 2 и ТЭС “Рамин” в Иране (электростанции с конденсационными турбинами).

На современном этапе развития энергетики возникает необходимость в решении задач, направленных на повышение безопасности, надеж-



**Рис. 1.** Зависимость кислотного числа  $K$  огнестойких жидкостей в интервалах 0–2.0 (а) и 0–0.5 мг КОН/г (б) от продолжительности работы оборудования.

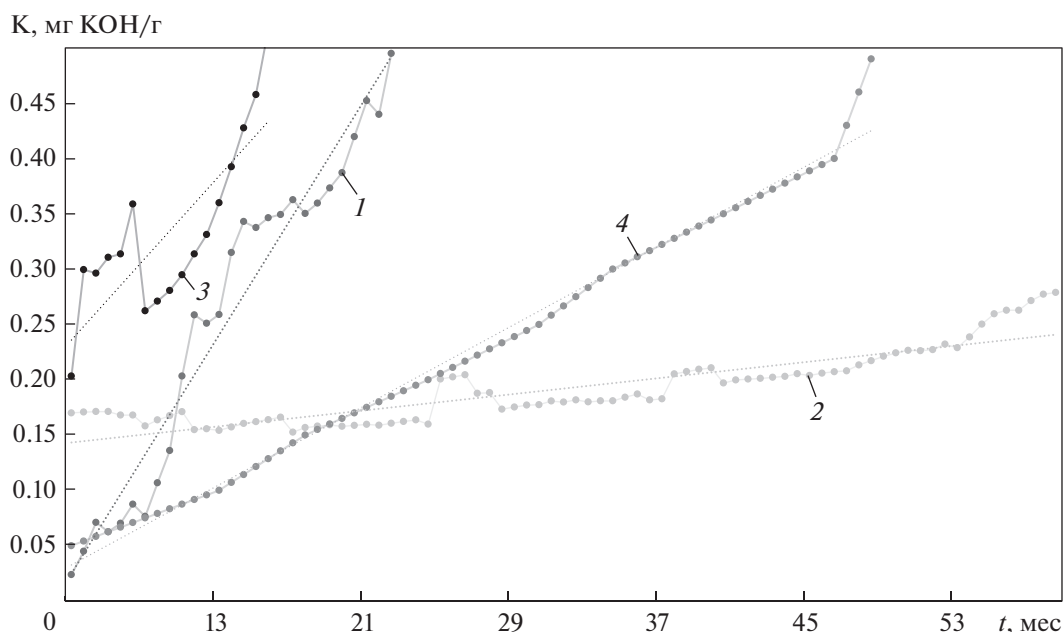
1 – ОМТИ, ТЭС “Рамин”; 2 – Reolube ОМТИ, ПТ-1, ТЭС-3, энергетическая компания № 3; 3 – Reolube ОМТИ, ПТ-1, ТЭС-Е, энергетическая компания № 2; 4 – Furguel L, ПТ-1, ТЭС-А, энергетическая компания № 1; 5 – изготовлено в компании “Созидание”, ПТ-1, ТЭС-Б, энергетическая компания № 1; 6 – Reolube ОМТИ, ПТ-1, ТЭС-И, энергетическая компания № 3; 7 – Reolube ОМТИ, энергетическая компания № 1



**Рис. 2.** Зависимость кислотного числа огнестойких жидкостей теплофикационных турбоагрегатов (а) энергетических компаний № 1 (1), 3 (2) и конденсационных турбоагрегатов (б) энергетических компаний № 2 (3) и ТЭС "Рамин" (4) от продолжительности работы оборудования

ности и эффективности функционирования турбоагрегатов. Для их реализации разрабатываются математические модели, описывающие поведение систем во времени. Они дают возможность проводить анализ функционирования систем на разных временных интервалах, в том числе прогнозировать срок службы огнестойких жидкостей [10].

Доверительную вероятность зависимостей, показанных на рис. 2, принимали равной 0.95 [11]. На практике вычислить доверительную область затруднительно – высокая вероятность часто находится в выборке большого объема информации, зависящей от некоторых эксплуатационных условий работы турбины (возможное обводнение огне-



**Рис. 3.** Зависимость кислотного числа огнестойких жидкостей в системах автоматического регулирования конденсационных и теплофикационных турбин энергетических компаний № 1 (1), 2 (2), 3 (3), ТЭС Рамин (4) от продолжительности эксплуатации оборудования

стойких жидкостей, некачественная промывка маслосистемы и т.д.). Для проверки корректности аппроксимаций был использован коэффициент достоверности аппроксимации  $R^2$ , а для оценки значимости моделей в целом — критерий Фишера [12].

Как следует из полученных результатов, линии тренда энергетической компании № 1 ( $R^2 = 0.95$ ) и ТЭС «Рамин» ( $R^2 = 0.99$ ) лежат в допустимом диапазоне. Линии тренда энергетической компании № 3 ( $R^2 = 0.64$ ) и энергетической компании № 2 ( $R^2 = 0.78$ ) значительно выходят из диапазона, что демонстрирует значительно более низкое качество эксплуатации масла на ТЭЦ. Отсутствие систематической комплексной очистки огнестойких жидкостей в системах автоматического регулирования паровых турбин на ТЭС энергетической компании № 3, как и энергокомпании № 1 (см. рис. 2), приводит к тому, что кислотное число к четвертому году эксплуатации увеличивается в 2 раза по сравнению с нормативными значениями.

По мнению авторов, режим эксплуатации гидравлических жидкостей на конденсационных электростанциях более щадящий, чем на электростанциях с теплофикационными турбинами, в которых процесс регулирования осложняется устройствами для корректировки давления отбираемого пара или противодавления. В связи с этим вероятность попадания воды в маслосистему при работе теплофикационных энергоблоков выше, чем при работе конденсационных

(через концевые уплотнения паровых турбин, в маслосистемы уплотнения подшипников). Также существенным фактором различия режимов эксплуатации турбин двух типов является более частое использование ТЭЦ, а не ТЭС или ГРЭС в пиковой или полупиковой части графика нагрузок, особенно в последние два года [13, 14], а при увеличении количества переменных режимов повышается вероятность обводнения турбинных масел [15].

На рис. 3 представлены данные расширенного исследования применения огнестойких жидкостей в системах автоматического регулирования паровых турбин ТЭС. После визуального анализа дискретных точек была использована линейная аппроксимация, так как при разбиении значений кислотного числа огнестойких жидкостей на интервалы явно прослеживается линейная зависимость. Например, для эксплуатационных масел энергетической компании № 1 линейная аппроксимация выполнена по формуле

$$y = 0.0256x - 0.0029.$$

Как следует из рис. 3, применение линейной аппроксимации для энергетической компании № 3 не приемлемо ввиду сложной конфигурации зависимости.

При старении огнестойких жидкостей на первом этапе эксплуатации наблюдается линейный участок роста  $K$ , постепенно переходящий в экс-

пониженный. Это объясняется особенностью гидролиза огнестойких жидкостей, который катализируется накапливающимися диарилфосфатами [7]. По результатам анализа данных старения огнестойких жидкостей в энергетических компаниях № 1–3 и ТЭС “Рамин” выявлено, что, несмотря на усреднения значений  $K$  (см. рис. 2) даже с учетом очистки, доливки и замены огнестойких жидкостей, есть линейный характер роста, что коррелирует с теоретическими представлениями [15].

Далее приведены причины различия в углах наклона на линиях зависимостей кислотного числа от продолжительности работы оборудования для разных групп турбоагрегатов.

В качестве огнестойких жидкостей использовались масла различных типов, имевшие разную основу (рецептуру) и произведенные по различным технологиям.

В определенные периоды работы даже на крупных химических производствах обнаруживаются различия в качестве продуктов, поставляемых под одной торговой маркой [16]. Поскольку базовым компонентом огнестойких жидкостей является полный ариловый эфир ортофосфорной кислоты, то основным механизмом регулирования свойств конечного продукта служит варьирование взаимного соотношения и структуры алкилфенолов в процессе фосфорилирования. Причем даже небольшое изменение состава или структуры алкилфенолов приводит порой к существенным изменениям конечных свойств [16, 17]. Последние 30 лет добыча ксиленольной фракции каменноугольного происхождения на территории стран бывшего СССР не производится (завод “Фосфор” в г. Тольятти ликвидирован в 2003 г. и Дзержинский фенольный завод в Донецкой обл. также более не выпускает этот продукт) [18]. В связи с этим качество огнестойких жидкостей в настоящее время зависит исключительно от зарубежных поставщиков (Китай, Бразилия, Индия и Южная Африка).

Нахождение энергоблоков в базовой или пиковой части графика нагрузок влияет на сроки и объемы проведения ремонтных работ на оборудовании, а также на качество его эксплуатации. В городах наблюдается максимальная суточная неравномерность электропотребления, а паротурбинные ТЭЦ, особенно те, что не имеют пиковых котлов, плохо приспособлены к регулированию тепловой нагрузки. Сложность и длительность пусковых операций на тепломеханическом оборудовании, технологические ограничения и необходимость обеспечения минимально допустимой нагрузки с таким оборудованием повышают показатели аварийности ТЭЦ по сравнению с ТЭС и ГРЭС, находящихся в базовой части графика нагрузок.

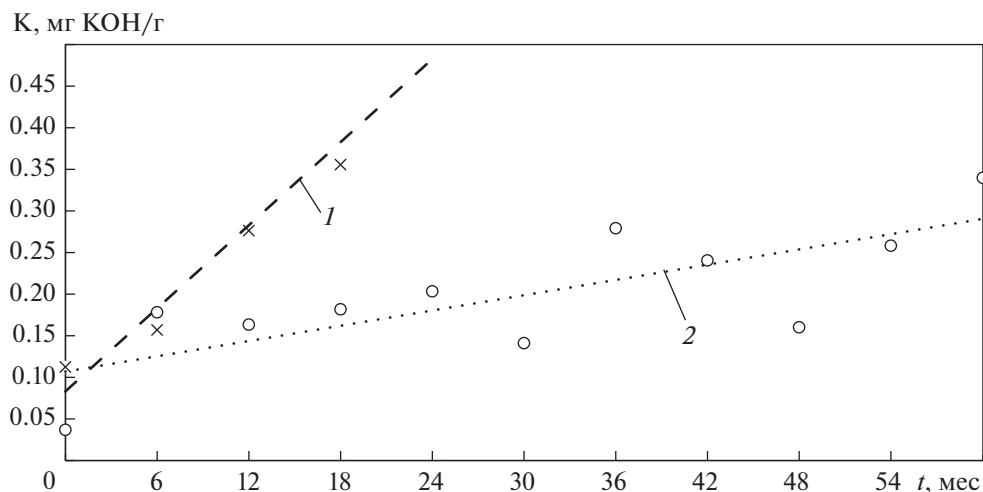
Действующие нормативные документы не обязывают, но рекомендуют использовать системы очистки масла на энергетических предприятиях. Для очистки масел от механических примесей и влаги ранее применялись стационарные центрифуги и фильтры под давлением. В связи со значительными сложностями в обслуживании данного оборудования, большим объемом отходов масел и материалов, низкой производительностью в настоящее время все чаще применяются современные мобильные маслоочистительные установки, которые возможно использовать на различных энергоблоках в пределах одной электростанции (реже – локальной энергосистемы [19]). Уменьшение влагосодержания масел, т.е. устранение главной причины их гидролитического разложения, наиболее часто вызывает необходимость применять маслоочистительные установки. Снизить кислотное число, основной браковочный показатель, можно путем использования сорбентов, дополнительного ионообменного (или других технологий) модуля.

На рис. 4 представлены зависимости, которые доказывают, что постоянное применение регенерационной установки для очистки масел оказывает положительное влияние на эксплуатационные характеристики огнестойких жидкостей и продолжительность их работы (в некоторых случаях до 13 лет).

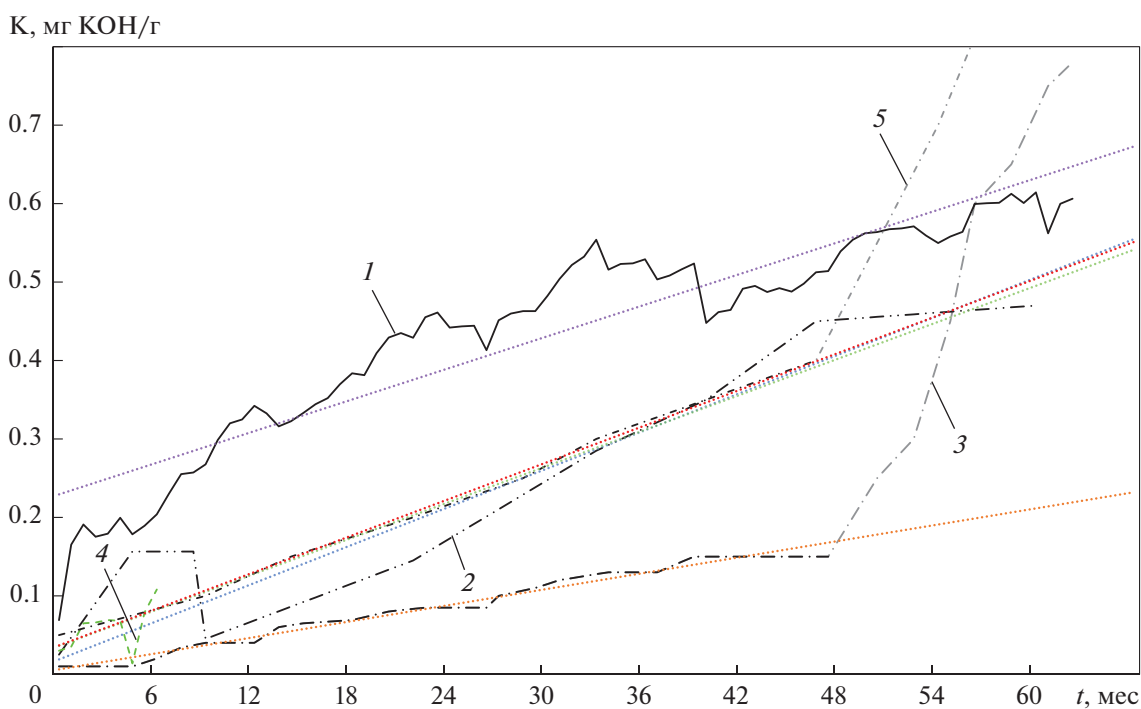
Наибольший интерес вызывает зависимость кислотного числа от марки огнестойкой жидкости. На рис. 5 приведены обобщенные данные по изменению кислотного числа огнестойких жидкостей различных марок на ТЭС энергетических компаний № 1–3 и ТЭС “Рамин”. С учетом того что линейная аппроксимация построена без учета лавинообразного ухудшения  $K$ , по формальному признаку наилучшие показатели имеет огнестойкая жидкость Fyrquel EHC PLUS. Преимущество состоит в оптимальном угле наклона аппроксимационной прямой кислотного числа (более пологий угол означает меньшую скорость ухудшения показателя). Кроме того, следует обратить внимание на отсутствие лавинообразного ухудшения основного браковочного показателя огнестойкой жидкости Reolube OMTI, что также может говорить о высоком качестве продукта.

Необходимо учитывать, что у огнестойких жидкостей Fyrquel EHC PLUS и OMTI наблюдается резкий рост  $K$  после 4 лет эксплуатации. Данную проблему в энергетике принято решать дополнительной очисткой огнестойких жидкостей, доливкой свежего продукта либо полной заменой огнестойкой жидкости (в крайних случаях, так как это мероприятие весьма дорогостоящее).

Таким образом, на основании совокупности представленных в статье аргументов о необходимости



**Рис. 4.** Зависимость кислотного числа огнестойких жидкостей, неочищенных (1) и очищенных с помощью ионообменной технологии (2), от продолжительности эксплуатации оборудования



**Рис. 5.** Зависимость кислотного числа огнестойких жидкостей различных марок от продолжительности работы оборудования.  
1 – Reolube OMTI; 2 – Fyrquel L; 3 – Fyrquel EHC PLUS; 4 – изготовлено в компании “Созидание”; 5 – OMTI

сти проводить очистку огнестойких жидкостей и анализа приведенных данных из научных источников можно сделать вывод, что наибольшее влияние на продолжительность срока службы огнестойких жидкостей оказывают условия эксплуатации (регу-

лярное применение маслоочистительных установок, контроль и поддержание регламентного режима работы системы паровых уплотнений турбины, теплообменников и маслоохладителей) [20] и применение ионообменных технологий.

## ВЫВОДЫ

1. Проведение постоянной или периодической очистки огнестойких жидкостей дает возможность значительно продлить срок их службы.

2. Современные огнестойкие жидкости изготавливаются из различного сырья, поэтому актуальными научными и практическими задачами являются:

создание отечественного производства огнестойких жидкостей, которые позволят заменить импортные аналоги;

разработка и утверждение регламента контроля качества огнестойких жидкостей российского производства;

обмен опытом между энергокомпаниями России в целях унификации применения огнестойких жидкостей;

совместно с производителями теплотехнического оборудования выбор высококачественных масел и применение огнестойких жидкостей, совместимых при их смешении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петриченко А.Д.** Повышение эффективности очистки и регенерации трансформаторных и турбинных масел // Электрические станции. 1989. № 10. С. 67–69.
2. **Анализ** огнестойкого турбинного масла на основе триксиленилфосфата методами ИК- и ЯМР-спектроскопии / К.Е. Петрова, В.Н. Бакунин, А.Н. Козун, В.В. Архипчук // Новое в российской электроэнергетике. 2020. № 9. С. 45–51.
3. **Меджибовский А.С., Колокольников А.С., Савченко А.О.** Трет-бутилированный трифенилфосфат – перспективная синтетическая огнестойкая жидкость // Мир нефтепродуктов. 2020. № 1. С. 35–38.
4. **Охлопков А.В., Шуварин Д.В., Орлов К.А.** Опыт применения огнестойких жидкостей в системах автоматического регулирования паровых турбин на ТЭС // Теплоэнергетика. 2022. № 8. С. 31–38. <https://doi.org/10.56304/S0040363622070062>
5. **СО 153-34.20.501-2003.** Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: Госэнергонадзор, 2003.
6. **Огнестойкие** турбинные масла ВТИ и их роль в повышении пожарной безопасности ТЭС и АЭС / Е.Д. Вилянская, В.В. Лыско, М.С. Фрагин, А.Г. Вайнштейн // Теплоэнергетика. 1991. № 7. С. 38–41.
7. **Технология** комплексной очистки огнестойких масел / В.В. Мартынов, Н.В. Аржиновская, Н.М. Первушина, В.А. Петрухин, А.Б. Пономарев, С.К. Моисеев // Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 45–52. <https://doi.org/10.1134/S0040363621100027>
8. **Матвеевский Р.М., Богодяж И.П., Малинина Л.П.** Сравнительное исследование температурной стойкости турбинных масел при трении стали // Электрические станции. 1976. № 7. С. 20–22.
9. **Шуварин Д.В.** Актуальные вопросы применения трансформаторных масел: руководство. <https://gukovodstvo.ru/exspl/135150/index.html> (Дата обращения: 20.04.2023.)
10. **Антонов А.В., Маловик К.Н., Чумаков И.А.** Интервальная оценка характеристик надежности уникального оборудования // Фундаментальные исследования. 2011. № 12. Ч. 1. С. 71–76.
11. **Исследование** неравномерности полей концентрации веществ в газовом тракте котельных установок / П.В. Росляков, И.А. Закиров, И.Л. Ионкин, Л.Е. Егорова // Теплоэнергетика. 2006. № 5. С. 10–16.
12. **Жирнов Д.И.** Прогнозирование технического состояния машин с использованием табличного процессора Microsoft Excel // Специальная техника и технологии транспорта. 2021. № 10. С. 107–111.
13. **Курбатов П.А., Гриценко А.Д., Охлопков А.В.** Влияние регулирования реактивной мощности на надежность генерирующего оборудования // Электрические станции. 2022. № 9. С. 22–32.
14. **Impact** of operation mode in terms of reactive power regulations on technical condition and reliability of generating equipment operation / S. Lenev, A. Vivchar, A. Okhlopov, V. Bitney // Proc. of the 4th Intern. Youth Conf. on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering. REEPE 2022: Moscow, 17–19 March 2022. <https://doi.org/10.1109/REEPE53907.2022.9731385>
15. **Гвоздев В.С.** Обводнение турбинного масла и средства контроля и защиты его от влаги на турбогенераторах ТЭС: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2003. <https://tekhnosfera.com/view/97935/d#?page=1>
16. **Охлопков А.В., Орлов К.А.** Сравнение методик анализов огнестойких жидкостей, выполняемых различными масляными лабораториями // Мир нефтепродуктов. 2022. № 5–6. С. 62–68.
17. **Савченко А.О.** Разработка состава огнестойкой турбинной жидкости на основе 4-*mpem*-бутилированных трифенилфосфатов нового поколения: дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. [https://www.gubkin.ru/diss2/files/d01-Savchenko/Dissertation\\_Savchenko.pdf](https://www.gubkin.ru/diss2/files/d01-Savchenko/Dissertation_Savchenko.pdf)
18. **Охлопков А.В., Орлов К.А., Шуварин Д.В.** Исторический обзор смазочных и гидравлических жидкостей с огнестойкими свойствами // Энергетик. 2023. № 3. С. 32–38.
19. **Инновационная** деятельность ПАО “Мосэнерго” / А.Н. Вивчар, А.В. Охлопков, К.С. Никишов, О.Ю. Сигитов // Электрические станции. 2022. № 9 (1094). С. 11–15.
20. **Гуназа С.А.** Об огнестойких турбинных жидкостях для паровых турбин ЛМЗ // Новое в российской электроэнергетике. 2022. № 1. С. 25–39.



## Analyzing the Change in the Acid Number of Fire-Resistant Fluids during Their Operation in Automatic Closed Loop Control Systems of Steam Turbines at Thermal Power Plants

A. V. Okhlopkov<sup>a, \*</sup>, D. V. Shuvarin<sup>a</sup>, K. A. Orlov<sup>b</sup>, V. F. Ochkov<sup>a</sup>, and A. V. Ryzhenkov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

<sup>b</sup> OOO Trieru, Moscow, 111250 Russia

\*e-mail: OkhlopkovAV@mpei.ru

**Abstract**—Fire-resistant fluids and lubricants are products that are used in various industry branches for ensuring reliability and safety of equipment operating under conditions of high temperatures and pressures and flame impact. For the last 30–50 years, industry-grade fire-resistant fluids, which feature high thermal stability and do not ignite when coming in contact with flame, have become commercially available in the world market. The article presents the results obtained from long-term studies of such fluids during their operation in the automatic closed loop control systems of steam turbines (STs) of condensing and cogeneration units of thermal power plants (TPPs) located in different regions of Russia and abroad (more than 50 life cycles of these fluids have been analyzed). The reasons for using synthetic compounds in the power industry are described along with the properties in which they differ from petroleum oils, and trends and prospects of applying noncombustible liquids in Europe and Russia are formulated. The aims of the study were to determine the most essential reasons why the standard operation times of fire-resistant fluids were shortened and to develop a procedure for determining the product quality and predicting the life cycle of such fluids (the procedure itself will be addressed in our next publication). Intermediate study objectives were to substantiate the approximation of the input data obtained as a result of their collection and to divide the facilities at which these fluids are used into certain categories. The change in the performance characteristics of fire-resistant fluids during their operation in the control systems of steam turbines of various types at different thermal power plants is analyzed. The most significant factors influencing the extension of fire-resistant fluids' service life are reviewed, and measures aimed at preventing degradation of their quality have been analyzed (regeneration, use of oil purification plants, replenishing, etc.).

**Keywords:** fire-resistant fluids, automatic closed loop control system, steam turbines, acid number, varnish formation potential, oil purification installations, ion exchange