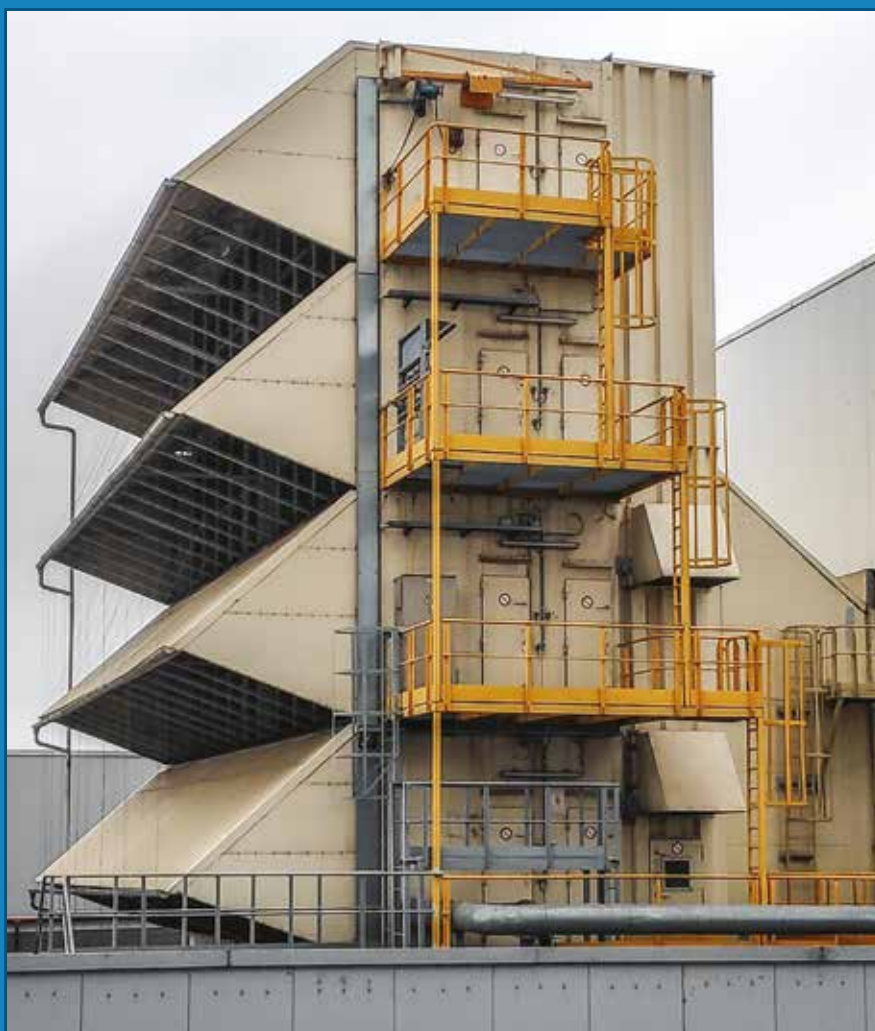


В.Л. Жохов, С.Н. Ленёв

# ЗАЩИТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ

ОТ ДВУКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ И ПЛОДОВ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ



2020  
Мосэнерго



В.Л. Жохов, С.Н. Ленёв

# **ЗАЩИТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ**

ОТ ДВУКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ И ПЛОДОВ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Учебное пособие для инженерного состава  
блоков ПГУ и ГТУ

2020

Мосэнерго

**Жохов В.А., Ленёв С.Н. Защита энергетических ГТУ  
от двукрылых насекомых и плодов цветения растений. – М.: Мосэнерго, 2020. – 80 с.: ил.**

Учебное пособие для инженерного состава блоков ПГУ и ГТУ

© В.А. Жохов, текст, 2020

© С.Н. Ленёв, текст, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                            | 5  |
| ГЛАВА 1                                                   |    |
| Двукрылые насекомые и плоды цветения растений .....       | 6  |
| ГЛАВА 2                                                   |    |
| Опыт эксплуатации противомоскитных сеток на КВОУ ГТУ..... | 20 |
| ГЛАВА 3                                                   |    |
| Выбор противомоскитных сеток.....                         | 34 |
| ГЛАВА 4                                                   |    |
| Защитные сетки КВОУ ГТУ от птиц и мусора .....            | 50 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                           | 79 |



Очистка циклового воздуха энергетических ГТУ является многосложной и труднореализуемой задачей. Разнообразные факторы окружающей среды, обусловленные природными и рукотворными источниками загрязнения, накладывают дополнительные требования на систему фильтрации атмосферного воздуха. В результате чего создаются многоступенчатые системы очистки воздуха, снижающие поступление в проточную часть ГТУ атмосферной влаги в виде дождя и снега, крупно- и мелкодисперсных частиц пыли и несгоревших углеводородов.

Однако, как показывает опыт эксплуатации энергетических установок в весенне-летний период, применение традиционных методов очистки даже с помощью многоступенчатой системы воздушных фильтров, установленных в КВОУ ГТУ, не позволяет полностью решить поставленной задачи.

Полчища двукрылых насекомых, плоды цветения растений, такие как тополиный пух, одуванчики и другие, вместе с потоками всасываемого воздуха поступают в КВОУ, покрывая и блокируя собой фильтровальный материал воздушных фильтров, снижают расход воздуха, проходящего через систему фильтрации, приводят к росту перепада давления на фильтр-элементах, что в конечном итоге негативно сказывается на выработке электроэнергии ГТУ.

Для очистки циклового воздуха энергетических ГТУ от двукрылых насекомых, плодов цветения растений, от птиц и мусора применяются два вида сеток: противомоскитные и защитные сетки от птиц и мусора.

В настоящее время ни ГОСТов, ни стандартов, регламентирующих применение таких защитных устройств на КВОУ ГТУ, не существует. В 2007 году РАО «ЕЭС России» утвердило «Общие технические требования к системам фильтрации воздуха для энергетических газотурбинных установок», в которых сетки от насекомых и птиц были включены в перечень комплектации КВОУ. Несмотря на это, не все КВОУ энергетических ГТУ поставлялись со штатными противомоскитными сетками.

В данной работе представлен опыт эксплуатации противомоскитных и защитных сеток от птиц и мусора. Выработаны требования к противомоскитным сеткам, выполнено их тестирование, даны рекомендации инженерному составу, эксплуатирующему энергетические ГТУ, по выбору и входному контролю штатных и нештатных сеток.

## ДВУКРЫЛЫЕ НАСЕКОМЫЕ И ПЛОДЫ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ



### 1.1. ДВУКРЫЛЫЕ НАСЕКОМЫЕ В ПРИРОДЕ

Одним из аспектов климатических условий, существенно влияющих на жизненный цикл воздушных фильтров, обеспечивающих очистку циклового воздуха ГТУ от загрязнений, являются двукрылые насекомые. Концентрация этих насекомых бывает настолько велика, что фильтрующие элементы, установленные на всасе двигателей «забиваются» (блокируются) ими в кратчайшее время. Там, где очистка циклового воздуха не была обеспечена должным образом или отсутствовала, лопатки компрессоров покрываются биомассой насекомых, попавших в проточную часть турбомашин.

На Рис. 1 изображены размеры останков насекомых, снятых с лопаток компрессора двигателя ГТЭ-20С в поселке Ямбург [1].

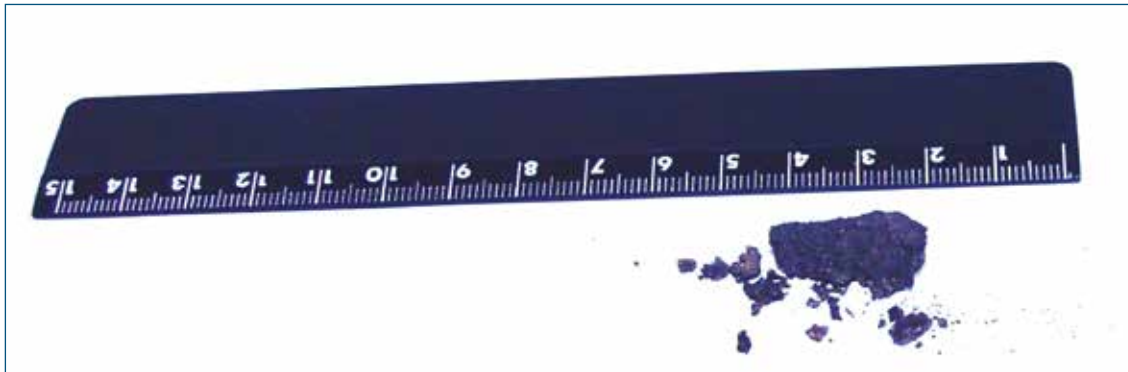


Рис. 1. Биомасса насекомых, снятая с лопаток компрессора ГТЭ-20С

Актуальность этой проблемы становится более очевидной, если вспомнить, что территория тайги, смешанных лесов, лесотундры и тундры, где обитают в изобилии эти насекомые, составляет более 80% территории нашей страны. Поэтому, несмотря на более низкую по сравнению с другими зонами концентрацию пыли в этой зоне, требования по очистке циклового воздуха двигателей должны не снижаться, а смещаться в сторону других приоритетов.

Кто же такие двукрылые и что они из себя представляют?

Двукрылые (Diptera) – отряд насекомых, характеризующихся наличием одной пары крыльев. Это одна из обширнейших и наиболее широко





Рис. 2. Комары

распространенных групп насекомых. В настоящее время учеными описан 160 591 вид двукрылых насекомых. К этой группе относятся такие хорошо известные всем виды, как настоящие мухи, настоящие комары, москиты, мокрецы, слепни, оводы и другие [2].

Многие виды двукрылых наиболее известны как кровососущие и переносчики заболеваний человека и животных. Кровососущими в основном являются самки двукрылых насекомых, поскольку у самцов ротовая полость недоразвита.

Комары – основные переносчики болезней (Рис. 2). Около 30 видов рода *Anopheles* и некоторые другие комары распространяют вирусы желтой лихорадки и денге. Среди родов *Culex* и *Aedes* известны переносчики различных вирусных энцефаломиелитов. *Aedes aegypti* являются хозяевами паразитических простейших – возбудителей малярии. Виды *Aedes*, *Culex*, *Anopheles* и *Mansonia* могут заражать людей мелкими паразитическими червями (нематодами надсемейства *Filarioidea*), вызывая филяриозы, которые в тяжелых случаях приводят к «слоновости», т.е. сильному утолщению кожи и подкожной клетчатки различных частей тела. Зафиксировано свыше 25 тысяч видов комаров.

Одной из разновидностей комаров являются комары-звонцы, хирономиды (*Chironomidae*) (Рис. 3). Название комар получил из-за характерного звука, который образуется, когда комар машет крыльями (до 1000 взмахов в секунду). Взрослые особи вообще не питаются, их ротовые органы недоразвиты, поэтому этот вид комаров не кусается и не пьет кровь. В повседневной жизни их называют «зелеными» из-за окраски тела.



Рис. 3. Комар-звонец

Москиты, относящиеся к семейству бабочниц, распространяют различные болезни.

*Phlebotomus papatasi* при кровососании может передавать вирус лихорадки паппатачи; *Phlebotomus verrucarum* – риккетсий, вызывающих лихорадку Ороя;

другие виды этого рода – переносчики паразитических простейших лейшманий, которые являются возбудителями заболевания кала-азар (индийского висцерального лейшманиоза).

Мошки, в частности пять видов рода *Simulium*, заражают человека паразитическими червями, вызывающими онхоцеркоз, который часто приводит к слепоте (так называемая «речная слепота»).

К крупным кровососущим двукрылым насекомым относятся слепни. Самка слепня способна за одно кровососание принять до 200 мг крови, т.е. столько, сколько выпивает 70 комаров или 4000 мокрецов. Во время кровососания слепни переносят возбудителей сибирской язвы и других тяжелых заболеваний.

На суше не найдется, пожалуй, такого уголка, где бы не обитали двукрылые. Это самый распространенный отряд насекомых. Двукрылыми изобилуют влажные тропики. Распространение большинства семейств этой природной зоны и ограничивается, а многие другие достигают здесь максимума разнообразия и численности. В умеренных или холодных областях на единице площади встречается меньше видов двукрылых, но численность их особей часто не ниже, чем в тропиках. В продуваемой ветрами арктической пустыне, на вершинах гор и среди барханов, где суровые климатические условия не подходят большинству насекомых, двукрылые остаются наиболее заметными представителями этой группы беспозвоночных. На севере Гренландии, в нескольких сотнях километров от Северного полюса, встречаются долгоножки, падальные мухи, цветочницы, звонцы и грибные комарики. На другом краю Земли, на антарктических островах, водится несколько видов мошек, журчалок, долгоножек, галлиц и некоторых других групп. В самой Антарктиде пока отмечен всего один вид бескрылых комаров, но, вполне вероятно, что там будут найдены и другие двукрылые.

В умеренных широтах двукрылые наиболее многочисленны в лесной зоне, где различные их виды питаются нектаром, пыльцой или соком, вытекающим из



Рис. 4. Полчища двукрылых насекомых

стволов деревьев. Они летают среди растений нижнего яруса, отдыхают на листве, ветвях, в щелях под камнями или упавшими деревьями. В лесу и сельской местности можно встретить настоящие полчища двукрылых после одновременного вылета миллионов взрослых особей из ближайших водоемов (Рис. 4).

Болота и другие влажные места изобилуют комарами, слепнями и прочими менее заметными двукрылыми. Они в массе встречаются по берегам озер и на морских побережьях: личинки одних развиваются в воде или на водной растительности, другие прилетают сюда в поисках корма – остатков выброшенных на сушу организмов или кишачих здесь более мелких насекомых.

Двукрылые могут слетаться на свет вместе с насекомыми других видов, представляя из себя движущуюся биомассу. Комары, звонцы и долгоножки роятся ближе к сумеркам, обычно над кустарниками, дорожками или другими ориентирами, вблизи которых рой, если его спугнуть, собирается вновь. Такие группы состоят главным образом из самцов; считается, что шум их крыльев своим характерным тоном привлекает самок.

Однако не только в лесу и сельской местности можно наблюдать полчища насекомых. Газетные публикации в весенне-летний период выглядят, как сводки с театра боевых действий.



28 мая 2018 года: «Воронеж атакуют полчища комаров. На борьбу с «кровопийцами» регион потратил уже 13 миллионов рублей».

«Ростовскую область атаковали комары 18 августа 2018 года».

«28 августа 2018 года в Таганроге на юго-западе Ростовской области зафиксирован типичный для этого времени года и жаркой погоды массовый вылет комаров-звонцов, хирономидов. Ими буквально усеяны набережные города и примыкающие к ним здания домов» (Рис. 5).



Рис. 5. Нашествие комаров-звонцов в Таганроге

В 2017 году таганрогские «зеленые комары» стали героями сюжета на сайте английского таблоида The Sun. Материал назывался «Момент безумия: тучи комаров вторгаются в город России и терроризируют его».

В обширном отряде двукрылых наблюдается огромное разнообразие размеров, формы и окраски тела. Длина некоторых галлиц всего 0,4 мм при размахе крыльев чуть более 1 мм. Австралийские ктыри достигают в длину 50 мм, а размах крыльев отдельных тропических долгоножек превышает 100 мм. Длина комаров составляет от 0,5 мм (мокрецы) до 30 мм (долгоножки).

На Рис. 6 показан размер комара на фоне мерной линейки.

По данным Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона [3], длина комара обыкновенного – *Culex pipiens* L. (*vulgaris* L.) – составляет около 6,5 мм. Комары-звонцы (Chironomidae, «зеленый комар») заметно крупнее своего кровососущего собрата – комара-пискуна, они достигают в длину 15 мм.

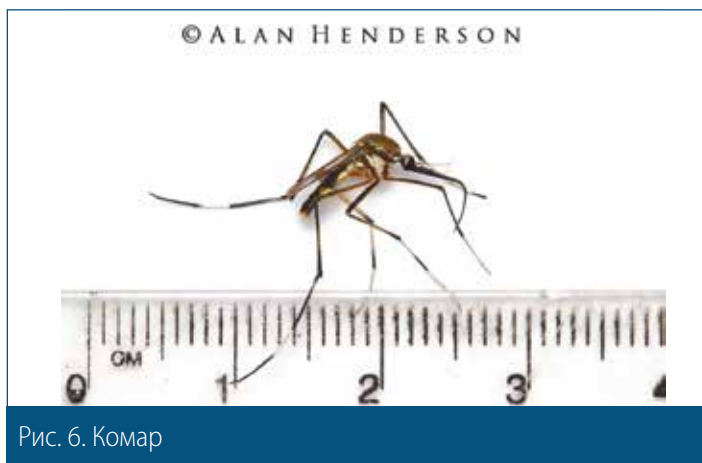


Рис. 6. Комар

На Севере нашей страны, например, в Санкт-Петербурге, распространен москит *Simulia reptans*, имеющий длину 2,5–3 мм, черно-бурый, с серебристо-серыми краями спинки и брюшка и с желтоватым основанием брюшка, голени белые. Здесь он досаждал только населению и животным, но в Лапландии и Швеции является истинным бедствием. По данным П.П. Перфильева [4], полученным еще в шестидесятые годы прошлого столетия, длина москитов составляет 1,2–3,7 мм.

Длина мух настоящих составляет от 2 до 15 мм. Самый мелкий вид – муха-горбатка – имеет длину 0,4 мм, самые крупные виды вырастают до 6 см. В таблице приведены осредненные данные размеров двукрылых насекомых, полученные из разных источников.

**Таблица 1. Осредненные размеры двукрылых насекомых в мм.**

| Название           | Размер, мм | Название              | Размер, мм |
|--------------------|------------|-----------------------|------------|
| Жужжало            | 6–13       | Комар-звонец          | 15         |
| Большоголовка      | 6          | Комар долгоножка      | до 30      |
| Мошка              | до 3       | Пятнокрылка           | 13         |
| Златоглазик        | 13         | Ктырь                 | 25         |
| Гессенская муха    | 6          | Овод подкожный        | 20         |
| Овод желудочный    | 13–20      | Журчалка              | 25         |
| Слепень бычий      | 20–25      | Ежемуха               | 6          |
| Рунец овечий       | 3          | Американская меромиза | 6          |
| Комар обыкновенный | 6–7        | Москит                | 1,5–3,5    |

Приведенные в таблице данные о размерах двукрылых представляют практический интерес для разработки устройств, защищающих от них персонал станций и двигатели. Для более эффективной работы устройств, предотвращающих попадание двукрылых насекомых в проточную часть конкретных двигателей, необходимо знать точные размеры и численность этих насекомых в районе электростанции. Для этой цели осуществляется отлов и учет насекомых.



## 1.2. ОТЛОВ И УЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ КРОВОСОСУЩИХ ДВУКРЫЛЫХ

На сайте центра государственного эпидемиологического надзора Российской Федерации приведен ряд официально принятых мер, позволяющих осуществить отлов и учет двукрылых насекомых [5]. Наиболее распространен сбор и учет насекомых при нападении их на жертву (человека или животное). Для отлова практически всех видов нападающих кровососов используют стандартный энтомологический сачок (Рис. 7).



Рис. 7. Отлов насекомых энтомологическим сачком



Рис. 8. Учет двукрылых насекомых по методу «на себе»

Показателем численности является среднее число кровососов на 10 взмахов сачком.

Учет кровососущих двукрылых проводят также по методу А.В. Гуцевича «на себе». Собирают нападающих на учетчика насекомых эксгаустером или пробиркой. За учетную единицу времени принимают 20 мин, а при низкой численности 30 мин или 1 час (Рис. 8).

Наиболее полный учет всех видов летающих кровососов обеспечивается методом учетного колокола Мончадского. Под поднятым колоколом располагается учетчик, являющийся одновременно приманкой. После пятиминутной экспозиции колоколом быстро накрывают наблюдателя, который отлавливает оказавшихся внутри насекомых эксгаустером или пробиркой.

Модификацией белого колокола Мончадского является колокол Березанцева, сшитый в виде конусообразного колпака из черной непрозрачной материи. К отверстию на вершине конуса крепят садок из светлой сетчатой ткани. После экспозиции (приманка – человек) колокол опускают, оказавшиеся в темноте насекомые самостоятельно скапливаются в пропускающем дневной свет садке. Таким же образом устроена чучелообразная ловушка Скуфына, сшитая в виде



чехла из темной материи и растянутая на специальном каркасе. Нижняя сторона ловушки открыта, верхнее отверстие накрывают прозрачным садком, устроенным наподобие верши. Кровососы, привлеченные формой и цветом ловушки, напоминающими крупное животное, влетают внутрь чехла и устремляются в садок. Этой ловушкой при небольших трудозатратах отлавливают большое количество мошек и слепней некоторых видов.

Для замера численности насекомых используют также и животных. В лесной зоне средней полосы России в июне за пять минут замеров на одной лошади насчитывали до 1500 комаров, корове – до 600, теленке – до 200 особей [6]. Для сбора и учета численности мошек, мокрецов часто используют клеевые листы (липучки) в местах концентрации этих насекомых в природе. Учетной единицей обычно служит экспозиция одного листа размером 20х30 см в течение одной ночи.

Как видно из вышесказанного, при всех достижениях науки и техники еще не придумали более простого и эффективного инструмента для ловли насекомых, чем сачок. Конечно, для отлова и учета насекомых в районе работы энергетических объектов лучше всего заключить договор с местной энтомологической службой для проведения подобных исследований.

В принципе, при наличии фирменного энтомологического сачка на отдаленных от центра объектах сотрудники сами могут выполнить данный вид работ. При помощи микроскопа и пинцета осуществляется определение размеров доминирующих видов насекомых. При этих измерениях акцент делается на минимальные габариты двукрылых насекомых, поскольку именно эти размеры будут определять эффективность выбранных защитных устройств. Такие иссле-



Рис. 9. Скелет насекомого под микроскопом





дования не занимают много времени, не требуют специального оборудования и подготовки персонала.

Можно пойти по более простому пути, собрав насекомых, осевших на фильтрах и не прошедших в проточную часть двигателей. Но этот метод не позволит определить ни вид насекомых, преобладающий в данном регионе местности, ни их минимальные размеры. Опираясь на собственный опыт, авторы могут утверждать, что при смене фильтров на их поверхности вместе с большим количеством пыли очень трудно выбрать и идентифицировать насекомых, тем более определить их размеры, поскольку они находятся уже в высушенном состоянии.

На Рис. 9 представлен снимок скелета двукрылого насекомого, полученный с помощью электронного сканирующего микроскопа при большом увеличении.

Кроме того, отлов и учет насекомых необходимо производить во время их максимальной активности, то есть в определенное время года, а не после истечения срока, когда наступает момент замены фильтров.



### 1.3. ПЛОДЫ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Другим важным сезонным фактором, влияющим на качество жизни населения и работу технических средств, является цветение растений. Помимо аллергии и астмы, затруднения дыхания у части людей, цветение ряда растений вызывает большие проблемы при эксплуатации энергетического оборудования. Одним из таких растений является тополь.

#### **Тополь**

Точные сроки цветения тополя зависят от климатической зоны. Цветение тополя приходится примерно на апрель – май, до появления или одновременно с появлением первых листочков, а вот так раздражающий нас тополиный пух – созревшие плоды тополя с семенами – уже через два месяца, в июне – июле, покрывают все вокруг «ковром ваты» (Рис. 10).

Эта «вата» прекрасно горит, и пожарные даже называют тополиный пух «бикфордовым шнуром». Статистика печальная: в «тополиный период» в Москве в прошлые годы загоралось от такого «бикфордова шнура» до 20 машин в день!

В озеленении городов тополя стали применять с 1946 года. После Великой Отечественной войны нужно было максимально быстро восстановить облик Москвы и заменить утраченные деревья.

Для этой цели дендрологи предложили тополь бальзамический, который отличался быстрым ростом, густой кроной, легкостью размножения, устойчивостью к городским условиям, декоративным внешним видом, занимал меньшую площадь, благодаря компактности кроны, был относительно дешев. Программа озеленения была утверждена И.В. Сталиным, в Москву пришли тополя и начали свое победное шествие по всей стране.

Тополь – растение двудомное, то есть у него есть деревья мужские и женские. Мужские цветут, давая пыльцу, опыляя женские, а женские уже дают семена, снабженные пуховыми летучками (Рис. 11).

Возникает резонный вопрос: неужели нельзя было высадить только мужские экземпляры? Именно это и было сделано! Высаживались только мужские растения. Но природу не обманешь, и это прекрасно показал пример с тополями.

Известно, что растения, некоторые животные и насекомые в определенных ситуациях, приспосабливаясь к условиям жизни, способны менять пол. Деревья должны были размножаться, вот они и нашли выход. Ко всеобщему ужасу и не-



Рис. 10. Тополиный пух везде



Рис. 11. Появление тополиного пуха

удовольствию ботаники, дендрологи и другие специалисты отрасли наблюдали появление женских сережек на мужских тополях на ветвях рядом с мужскими цветками.

Справедливости ради надо отметить, если бы не тополиный пух, тополь был бы самым лучшим деревом для озеленения городов. За лето каждый тополь улавливает около 35 килограммов пыли. Каждый тополь – маленькая кислородная фабрика. Для сравнения: семь елей, четыре сосны и три липы выделяют столько же кислорода, сколько один тополь.

### **Одуванчик**

Другим растением, оказывающим существенное влияние на работу энергетического оборудования, является одуванчик (Рис. 12). Одуванчик (лат. *Taraxacum*) – род многолетних травянистых растений семейства Астровые, или Сложноцветные. Типовой вид рода – Одуванчик лекарственный – хорошо известное растение с розеткой прикорневых листьев и крупными ярко-желтыми соцветиями-корзинками из язычковых цветков.

Плоды одуванчика – веретенообразные, серовато-бурые продольно-ребристые семянки размером 3–5 мм, с длинным тонким носиком (длиной 7–12 мм),





Рис. 12. Одуванчики

на котором располагается хохолок из белых мягких волосков. При плодоношении верхушка стрелки одуванчика представляет собой идеальный шар, образованный сомкнутыми между собой хохолками плодов. С их помощью плод одуванчика может перелетать в воздушных потоках на большие расстояния, засеивая значительные площади земли (Рис. 13).

Цветение одуванчиков начинается в последнюю неделю апреля и продолжается весь май.

Затем их небольшое цветение можно наблюдать в течение всего лета.

Бурное цветение одуванчиков, покрывающих своим белым «ковром» большие промышленные территории, сопровождается одновременным подъемом в воздух миллиардов «зонтиков» с семенами, которые засасываются в воздухозаборные устройства турбомашин. Поскольку одуванчик является многолетним травянистым растением, проблемы с его цветением возникают ежегодно в весенне-летний период эксплуатации оборудования. Превентивные меры по многократному скашиванию одуванчиков до начала их цветения, принимаемые на энергетических объектах, дают определенные результаты по снижению загрязнения циклового воздуха турбомашин, но не решают эту проблему полностью.



Рис. 13. Рассеивание плодов одуванчика

### ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев Е.Н. Опыт эксплуатации ГТЭ-20 С // Тезисы доклада на 53 научно-технической сессии по проблемам газовых турбин РАН. – 2006, с.153-154.
2. Двукрылые // Энциклопедия «Кругосвет® », 2001.
3. Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А., Комары // Энциклопедия.
4. Перфильев П.П., Москиты // Фауна СССР. Насекомые, двукрылые, т. 3, М. – Л., 1966.
5. Карякина М. С. Значение кровососущих двукрылых как переносчиков возбудителей зоонозов. Методы отлова и учета численности компонентов гнуса // сайт ЦГЭН РФ.
6. Мещериков В.И. Сбор насекомых в природе // «Зооклуб».
7. Комары и москиты // «Белорусский охотничий портал».

# ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК НА КВОУ ГТУ



## 2.1. ОПЫТ ЗАЩИТЫ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГТУ ОТ ДВУКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ В СТРАНАХ С ТРОПИЧЕСКИМ КЛИМАТОМ

Для увеличения жизненного цикла фильтров в странах с влажным тропическим климатом, а также для защиты системы фильтрации воздуха от полчищ насекомых на всасе КВОУ ГТУ устанавливают защитные сетки.

Анализу использования защитных сеток от двукрылых насекомых за рубежом посвящена работа [1]. Размеры ячеек этих сеток определяются минимальными размерами насекомых так, чтобы предотвратить их проникновение в систему фильтрации. В главе 1 приведены размеры двукрылых насекомых, которые представляют практический интерес для разработки устройств, защищающих от них персонал электростанций и воздушные фильтры КВОУ ГТУ.

Поскольку в странах с жарким и влажным климатом зимы, в нашем представлении, не бывает, то крепление защитных сеток к КВОУ осуществляется



Рис. 1. Противомоскитная сетка на ТЭЦ ГТУ в Бангкоке (Таиланд)





с помощью стационарных металлических конструкций каркаса (Рис. 1). Безусловно, качество металла, используемого в данной конструкции, при высокой влажности окружающей среды должно исключать возможность его ржавления и создания дополнительного источника загрязнения фильтров частичками коррозионного металла.

Защитная сетка обычно изготавливается из синтетических волокон повышенной прочности. Нередко она пропитывается специальным раствором, отпугивающим насекомых. Поскольку наибольшую проблему для людей и животных представляют москиты, сетки, используемые для защиты от них, называются противомоскитными.

Если ГТУ располагается на площадке вблизи земли или на месте, где к противомоскитной сетке может быть доступ других животных, способных повредить ее, то перед ней на некотором расстоянии устанавливают металлическую защитную сетку (Рис. 2).



Рис. 2. Защитная сетка перед КВОУ ГТУ в Бангладеш

Каркас такой конструкции должен обеспечивать не только надежность крепления обеих защитных сеток, но и ветровые, а при необходимости, и сейсмические нагрузки, чтобы не повредить двигатель.

Опыт применения защитных сеток от насекомых в странах с жарким и влажным климатом может быть использован и на отечественных электростанциях, эксплуатирующих энергетические ГТУ.

## 2.2. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК НА КВОУ ГТУ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЭЦ

В отличие от тропических климатических регионов активная фаза жизнедеятельности насекомых в нашей стране носит сезонный характер, поэтому создание тяжелых стационарных конструкций противомоскитной защиты для ГТУ не имеет смысла. Это должны быть прочные, но разборные конструкции, надежные в эксплуатации и удобные в хранении. Эти же конструкции с успехом могут применяться для защиты систем фильтрации циклового воздуха ГТУ от сезонного воздействия одуванчиков и тополиного пуха, оказывающих значительное влияние на работу всех технических средств. Особенно подвержены воздействию тополиного пуха такие большие города, как Москва и Санкт-Петербург.

В мае 2007 года РАО «ЕЭС России» утвердило «Общие технические требования к системам фильтрации воздуха для энергетических газотурбинных установок», в которых сетки от насекомых были включены в перечень комплектации КВОУ. Несмотря на это, в технических заданиях на изготовление и поставку КВОУ энергетических ГТУ отечественных ТЭЦ требование о наличии противомоскитной защиты отсутствовало.

На энергетические объекты нашей страны для блоков ПГУ стали поставлять КВОУ без штатной противомоскитной защиты. Они состояли в основном из трех ступеней очистки циклового воздуха ГТУ: коагуляторов (влагоотделителей), фильтров грубой и фильтров тонкой очистки.

В процессе уже первого года эксплуатации этих КВОУ был отмечен рост перепада давления на воздушных фильтрах в весенне-летний период эксплуатации ГТУ. Во время цветения растений, появления тополиного пуха, одуванчиков, насекомых в воздушных фильтрах и КВОУ обнаруживалось большое количество этих отложений (Рис. 3).

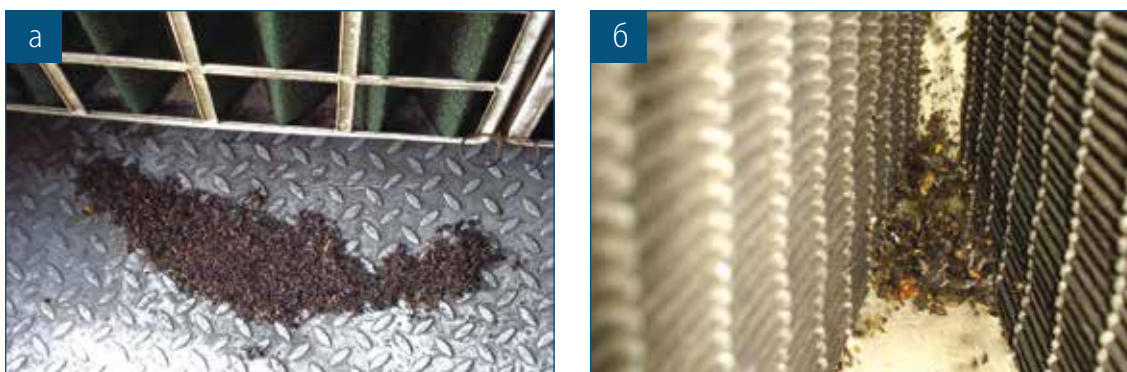


Рис. 3. Насекомые: а – в КВОУ; б – в фильтрах тонкой очистки



Электростанции с ПГУ стали нести дополнительные финансовые потери, обусловленные снижением мощности ГТУ из-за повышенного перепада давления на фильтрах КВОУ. Для обеспечения выполнения графика электрической нагрузки Системного оператора оперативному персоналу блоков ПГУ пришлось увеличивать расход топливного газа для поддержания необходимой мощности ГТУ. Кроме того, снизился срок жизненного цикла фильтров КВОУ и увеличилась частота их замены по достижении предельного перепада давления.

После этого в технических заданиях и технических требованиях к КВОУ появилось требование о комплектации его штатными противомоскитными сетками.

В ПАО «Мосэнерго» только на новых КВОУ предусмотрена штатная четвертая (сезонная) ступень очистки – противомоскитные сетки, используемые в весенне-летний период эксплуатации ГТУ (Рис. 4а). Эти металлические сетки устанавливаются на штатные места за погодными козырьками КВОУ.

Такое размещение позволяет им обеспечить защиту теплообменного аппарата противообледенительной (анти-айсинговой) системы и установленных за ним фильтров первой ступени от тополиного пуха и двукрылых насекомых (Рис. 4б

и 4в). На филиалах ПАО «Мосэнерго» с ПГУ штатные противомоскитные сетки показали высокую эффективность по задержанию насекомых, пыльцы цветов и растений и, особенно, тополиного пуха [2].

На ранее поставленных КВОУ ГТУ ПАО «Мосэнерго» штатные противомоскитные сетки не были предусмотрены. Для повышения эффективности



Рис. 4. Штатные противомоскитные сетки: а – чистые; б – покрытые тополиным пухом; в – покрытые бабочками



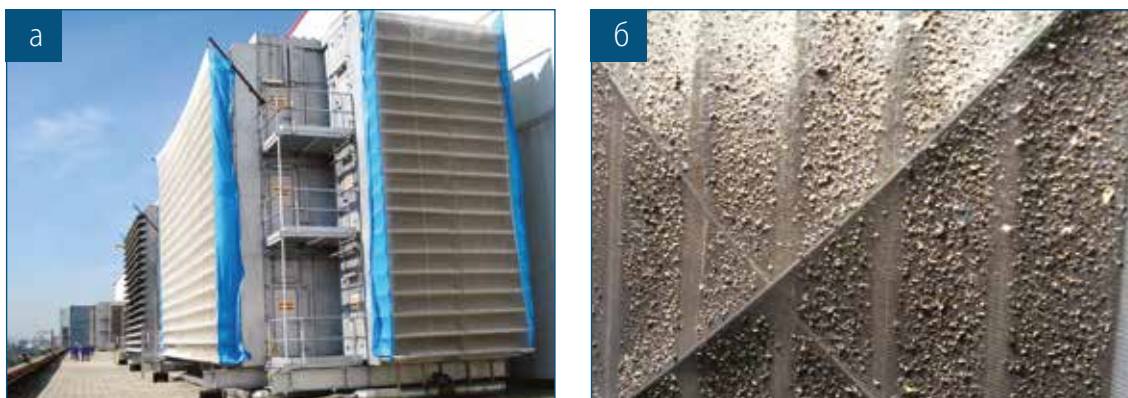


Рис. 5. Нештатные противомоскитные сетки: а – на КВОУ; б – на фильтрах

работы системы фильтрации циклового воздуха ГТУ, снижения перепада давления на фильтрах КВОУ и расхода топливного газа в ПАО «Мосэнерго» были выработаны технические решения по установке противомоскитных сеток на воздухозаборные тракты, не оснащенные штатными противомоскитными сетками.

Технические решения учитывали особенности конструкции КВОУ и их размещения на блоках ПГУ. Несколько КВОУ установлены на крыше здания блоков ПГУ, что позволяет с помощью металлических консолей закрепить синтетические противомоскитные сетки перед тремя всасами воздухозаборного тракта ГТУ (Рис. 5а). Для предотвращения подсоса неочищенного атмосферного воздуха и усиления прочности противомоскитной сетки ее боковые поверхности оснащены прочной воздухонепроницаемой тканью. Такое размещение КВОУ позволяет осуществлять очистку противомоскитных сеток при их снятии прямо на крыше здания ПГУ.

Ряд других КВОУ установлены консольно на здании блоков ПГУ. При этом сервисные дорожки перед погодными козырьками КВОУ отсутствуют. В этом случае установка и обслуживание противомоскитных сеток перед всасами КВОУ становится трудновыполнимой задачей. Кроме того, доступ к первой ступени фильтрации атмосферного воздуха возможен только со стороны выхода воздуха из фильтров коагуляторов. Перед ними установлены жалюзи влагоотделения и форсунки распыла горячего воздуха противообледенительной системы. В этом случае синтетические противомоскитные сетки устанавливаются на фильтры второй ступени КВОУ. Как видно на Рис. 5б, противомоскитная сетка, установленная на комбисистему, состоящую из фильтра грубой и тонкой очистки, эффективно защищает эти фильтры-элементы от двукрылых насекомых.

Особенности размещения блока ПГУ и всасов КВОУ существенно влияют на тип и интенсивность загрязнения противомоскитных сеток. В случае размещения блока ПГУ рядом с лесным или жилым массивом, где произрастает большое количество тополей, в определенный период времени будет наблюдаться



Рис. 6. Интенсивность заноса противомоскитных сеток: а – тополиным пухом; б – несгоревшими углеводородами и одуванчиками

значительная концентрация тополиного пуха в атмосферном воздухе, что мгновенно отразится на противомоскитных сетках КВОУ (Рис. 6а).

В случае расположения блока ПГУ внутри обширной индустриальной зоны или рядом с оживленной автомобильной трассой на противомоскитных сетках КВОУ, помимо двукрылых насекомых и одуванчиков, наблюдаются отложения несгоревших углеводородов (Рис. 6б). В этом случае противомоскитные сетки покрываются маслянистой пленкой, хорошо удерживающей другие отложения на своей поверхности. Очистка противомоскитных сеток от такого рода отложений становится непростой задачей.

На Рис. 7 представлен тренд роста перепада давления на штатных противомоскитных сетках КВОУ ГТУ, расположенного в жилом массиве в центре Москвы, в течение 18 июня 2018 года. С момента начала набора мощности блока ПГУ до начала его разгрузки (за 18 часов 17 минут работы) перепад давления на противомоскитных сетках вырос с 0,5 мбар до 1,5 мбар. Другими словами, рост перепада давления составил 100 Па. Как известно, увеличение перепада давления на 50 Па на фильтрах КВОУ ведет к снижению выработки электроэнергии ГТУ в среднем на 0,1% [3]. Таким образом, можно оценить влияние тополиного пуха на выработку электроэнергии (расход топливного газа для компенсации потерь мощности) ГТУ в течение одних суток.



Рис. 7. Тренд роста перепада давления на штатных противомоскитных сетках 18.06.2018





### 2.3. ОЧИСТКА ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК

Способ, частота и продолжительность очистки противомоскитных сеток зависит от погодных условий, конструкции КВОУ (наличие сервисных дорожек и доступность к сеткам), типа противомоскитных сеток (штатные или нештатные), вида и интенсивности загрязнения противомоскитных сеток (только тополиный пух и насекомые или тополиный пух и несгоревшие углеводороды), средств очистки (ручная очистка или техническими средствами), количества и типа (производительности) пылесосов, возможности размещения их в месте очистки противомоскитных сеток, наличия отработанных методик очистки сеток от различных видов загрязнений, подготовленности персонала.

В Таблице 1 представлена статистика очистки штатных противомоскитных сеток на КВОУ работающих ГТУ в период пиковой фазы цветения растений (май–июнь) 2018 года.

Следует отметить, что статистика очистки противомоскитных сеток в тот же самый период времени 2017 года кардинально отличается от 2018 года. Весна и лето 2017 года в Москве характеризовались пониженной температурой и дождливой погодой. В результате этого острой фазы цветения растений не наблюдалось и значительных отложений на противомоскитных сетках не фиксировалось.

В мае и июне 2018 года температура наружного воздуха превышала нормативные показатели на несколько градусов, в Москве установилась сухая и солнечная погода, что способствовало бурному росту и цветению растений. Это сразу же отразилось на заносе противомоскитных сеток тополиным пухом и росте перепада давления на них (Рис. 6а).

Заметим, что три ТЭЦ, о которых идет речь в таблице, находятся в центральной части Москвы. Расстояние между ТЭЦ А и ТЭЦ Б по прямой 8 км, а между ТЭЦ Б и ТЭЦ В всего 4 км. Эта информация будет интересна при сравнении количества очисток противомоскитных сеток на КВОУ рядом расположенных ТЭЦ.

КВОУ, перечисленные в таблице, имеют разное количество всасов и противомоскитных сеток. Конструкции КВОУ А и Б идентичны, в отличие от КВОУ В, которое установлено консольно на здании блока ПГУ. В результате этого доступ к противомоскитным сеткам со стороны всаса КВОУ отсутствует. Для того, чтобы очистить противомоскитные сетки в процессе работы ГТУ, необходимо изнутри КВОУ первоначально снять один карманный фильтр коагулятор, затем противомоскитную сетку. Через образовавшийся лаз необходимо проникнуть в зазор между жалюзи каплеуловителей за погодными козырьками КВОУ и штатным



**Таблица 1. Статистика очистки противомосkitных сеток на КВОУ, работающих в 2018 году**

| ТЭЦ | Конструктивные особенности КВОУ и количество сеток | Количество очисток сеток по месяцам |      | Примечание                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|----------------------------------------------------|-------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                    | Май                                 | Июнь |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| А   | Три всаса, три яруса, 540 шт.                      | 6                                   | 7    | <p>Очистка сеток пылесосом оказалась неэффективной, поэтому она осуществлялась щетками бригадой из 4–5 человек.</p> <p>На очистку сеток на всех всасах и ярусах КВОУ затрачивалось 8 часов. Перепад давления после очистки сеток снижался в среднем на 0,4 мбар.</p>                                                |
| Б   | Три всаса, три яруса, 540 шт.                      | 7                                   | 12   | <p>Очистка сеток на всех всасах и ярусах КВОУ производилась бригадой из 4 человек двумя пылесосами за 4 часа в ночное время (во время разгрузки блока ПГУ).</p> <p>Перепад давления снижался с 1,2 мбар до 0,6 мбар.</p> <p>Один раз сетки мылись водой с помощью пылесоса для снятия с них масляной пленки.</p>    |
| В   | Один всас, три яруса, 480 шт.                      | ремонт                              | 6    | <p>Очистка сеток осуществлялась поярусно: за первые две недели – 4 раза на нижнем ярусе (2 раза в неделю), в третью неделю – 1 раз в среднем ярусе, в последнюю неделю – 1 раз на всех ярусах одним пылесосом в течение 5 часов бригадой из 2 человек.</p> <p>Перепад давления снизился с 1,5 мбар до 0,5 мбар.</p> |

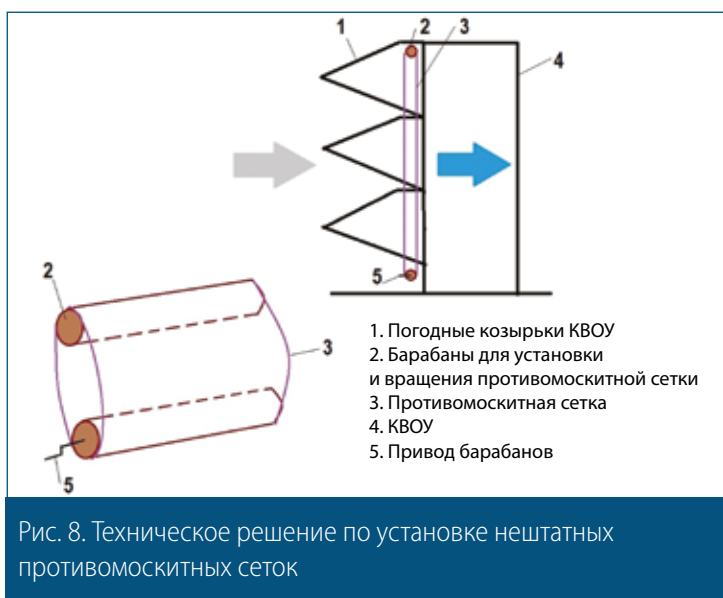
местом установки противомоскитных сеток. В это же пространство перемещается пылесос, с помощью которого осуществляется очистка противомоскитных сеток без их снятия. Процедура повторяется на каждом из трех ярусов КВОУ.

КВОУ А и Б имеют конструктивный доступ к противомоскитным сеткам со стороны всаса воздуха, что значительно упрощает процедуру очистки сеток. Как следует из Таблицы 1, даже на КВОУ одинаковой конструкции частота и способы очистки противомоскитных сеток различаются. Эти отличия обусловлены местом расположения блока ПГУ ТЭЦ. Как видно из приведенных данных, очистка сеток с помощью пылесосов занимает меньше времени, чем ручная очистка таким же количеством людей. В случае необходимости (для снижения перепада давления) очистка противомоскитных сеток может осуществляться по конкретным ярусам или всасам КВОУ, исходя из визуального контроля их наибольшей загрязненности.

Очистка нештатных синтетических противомоскитных сеток, установленных на всасе (всасах) КВОУ и на фильтрах второй ступени очистки воздуха, осуществляется после ее (их) полного снятия. Даже при наличии двух комплектов противомоскитных сеток фильтры КВОУ остаются незащищенными в течение нескольких часов.

Очевидно, что очистку противомоскитных сеток по многим соображениям лучше осуществлять во время остановки ГТУ. Однако безусловное выполнение графика нагрузки Системного оператора накладывает свои обязательства на работу блоков ПГУ.

На Рис. 8 представлено техническое решение, позволяющее обеспечивать очистку противомоскитных сеток при работающей ГТУ и постоянной защите



те воздушных фильтров КВОУ от двукрылых насекомых и продуктов цветения растений.

Конструктивно устройство состоит из двух барабанов, на которых закрепляется двухсторонняя противомоскитная сетка. Барабаны, один из которых имеет привод, крепятся на верхнем и нижнем ярусах КВОУ.



Принцип работы устройства заключается в следующем: в процессе эксплуатации ГТУ лицевая часть противомоскитной сетки загрязняется. Для ее очистки нижний барабан приводится в движение с помощью механического привода (ручного или электрического). По мере очистки лицевой части сетки ее обратная (чистая) сторона устанавливается в рабочее положение.

Таким образом, устраняются недостатки существующих способов защиты КВОУ от двукрылых насекомых и продуктов цветения растений:

1. Обеспечивается постоянная защита системы фильтрации КВОУ ГТУ в процессе работы и очистки противомоскитных сеток, увеличивается жизненный цикл воздушных фильтров и снижаются финансовые затраты на их закупку.
2. Установленная под погодным козырьком противомоскитная сетка не подвержена ветровым нагрузкам, таким образом, срок службы ее увеличивается, что приводит к снижению финансовых затрат на закупку и изготовление сеток.
3. Установка противомоскитных сеток на КВОУ и их очистка с помощью предлагаемого устройства значительно снижает трудозатраты по выполнению этих процедур (может выполняться одним человеком).

Как уже отмечалось, противомоскитные сетки рекомендуется применять в КВОУ ГТУ только в весенне-летний период года. Однако, опыт эксплуатации таких сеток показал эффективность их использования и осенью, во время интенсивного листопада – до первых заморозков. Тот, кто забывал их снимать в зимнее время, сталкивался с большими проблемами. На Рис. 9а зафиксирована ситуация, когда снег скопился между противомоскитной сеткой и панельным фильтром коагулятором первой ступени на КВОУ ГТУ, расположенной в южных широтах. На Рис. 9б показано полное обмерзание и блокирование противомоскитных сеток и всаса КВОУ



Рис. 9. Последствия использования противомоскитных сеток зимой: а – скопление снега между сеткой и фильтром; б – обмерзание и блокирование противомоскитных сеток и всаса КВОУ

противомосkitных сеток и всаса КВОУ ГТУ в северных широтах. Попытки очистить сетки с помощью корщеток не дали положительных результатов, и, как следствие, эксплуатация ГТУ стала невозможной.

Существенное влияние на срок службы противомосkitных сеток оказывает материал, из которого они изготовлены.

Неметаллические сетки должны изготавливаться из синтетических волокон повышенной прочности. Материал металлических противомосkitных сеток, как отмечалось ранее, должен противостоять коррозии. Если это не сделать, то через некоторое время эксплуатации на противомосkitных сетках появляются места, подверженные коррозии (Рис. 10а).

В ряде случаев для предупреждения коррозии противомосkitные сетки изготавливаются из алюминия. Однако, как известно, латунь, медь, алюминий являются пластичными материалами, которые способны без разрушения получать большие остаточные деформации [4]. Это, в свою очередь, может привести к изменению формы и размеров противомосkitных сеток, как под воздействием воздушного потока, так и в процессе их очистки (Рис. 10б).



Рис. 10. Конструктивные неисправности противомосkitных сеток: а – ржавление металла; б, в – деформация металла; г – двойная сетка





Следует избегать применения металлических противомоскитных сеток с увеличенной площадью фильтрации. На Рис. 10в представлено состояние противомоскитной сетки размером 1860х940 мм через несколько месяцев эксплуатации в КВОУ. Деформация (изгиб) металла обусловлена недостаточной жесткостью конструкции противомоскитной сетки.

Для предотвращения деформации металлических противомоскитных сеток целесообразно применять дополнительную стяжку посередине конструкции (Рис. 10г).

Другим конструктивным недостатком защиты от насекомых является изготовление двуслойных металлических противомоскитных сеток (Рис. 11). Извлечь попавших в зазор между двумя сетками двукрылых насекомых, тополиный пух, одуванчики и другие продукты цветения традиционным способом, как на однослойных сетках с помощью пылесоса, не удастся. Требуется разборка, а затем сборка такой конструкции, что значительно усложняет и удлинняет по времени процедуру очистки сеток.

Этот фактор может стать определяющим во время пика цветения растений, поскольку фильтры КВОУ, оставшиеся без этой ступени очистки атмосферного воздуха, быстро будут загрязняться.

В соответствии с ГОСТ Р ЕН 779-2014 и новым стандартом ISO 16890, вступившим в силу 1 июля 2018 года вместо стандарта EN 779:2012, противомоскитная сетка не может быть классифицирована как фильтр-элемент, поскольку определение эффективности воздушных фильтров осуществляется контрольной пылью. Улавливание частиц пыли, взвешенных в атмосферном воздухе, может осуществляться противомоскитной сеткой в случае покрытия ее поверхности слоем тополиного пуха или двукрылыми насекомыми. Несмотря на это, компания Siemens AG рекомендует осуществлять очистку сеток при достижении перепада давления на них, как на фильтрах грубой очистки – 250 Па.



Рис. 11. Отложение загрязнений внутри двуслойных противомоскитных сеток: а – сетка в сборе; б – сетка разобрана

Опыт эксплуатации ГТУ показал, что наличие противомоскитных сеток полностью не решает задачу предотвращения попадания двукрылых насекомых в фильтры КВОУ. В КВОУ, установленных на крыше машинного зала блока ПГУ (Рис. 3а), было зафиксировано проникновение большого количества двукрылых насекомых через отверстия системы дренажа атмосферных осадков. Для предотвращения этого явления в дренажную систему КВОУ были установлены невозвратно-запорные (обратные) клапана.

Совокупность этих мероприятий позволила защитить фильтры КВОУ ГТУ от негативного воздействия двукрылых насекомых, тополиного пуха и цветения растений.

### ВЫВОДЫ

1. Эффективность улавливания и начальный перепад давления противомоскитных сеток зависит от размера ячеек сетки, а размер ячеек – от минимального размера двукрылых насекомых, обитающих в конкретном месте эксплуатации ГТУ.
2. Материал противомоскитных сеток должен быть износоустойчив в процессе эксплуатации и не подвержен коррозии.
3. Противомоскитные сетки должны изготавливаться из твердых материалов, обладающих высокой прочностью (для сопротивления разрушению под действием напряжений, возникающих при воздействии внешних сил) и упругостью (для принятия первоначального положения после окончания различного вида воздействий).
4. Неметаллические противомоскитные сетки должны изготавливаться из синтетических волокон повышенной прочности.
5. Компания Siemens AG рекомендует осуществлять очистку противомоскитных сеток при достижении перепада давления на них, как на фильтрах грубой очистки – 250 Па.
6. Для снижения влияния тополиного пуха, двукрылых насекомых на выработку электроэнергии ГТУ рост перепада давления на противомоскитных сетках целесообразно не допускать выше 150 Па.
7. Частота, способ и продолжительность очистки противомоскитных сеток зависят от конструкции КВОУ, типа сеток, вида и интенсивности загрязнения, средств очистки, количества и типа пылесосов, наличия отработанных методик очистки сеток от различных видов загрязнений, подготовленности персонала.

8. В весенне-летний период эксплуатации ГТУ для предотвращения проникновения двукрылых насекомых в воздушные фильтры помимо противомоскитных сеток необходимо установить невозвратно-запорные (обратные) клапана в дренажную систему КВОУ.
9. В осенне-зимний период эксплуатации КВОУ ГТУ противомоскитные сетки и обратные клапана из дренажной системы должны сниматься.
10. Анализ эксплуатации КВОУ с противомоскитными сетками и без них показал, что срок службы фильтров первой ступени системы фильтрации циклового воздуха ГТУ увеличился на 2–3 месяца после применения противомоскитной защиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Л. Жохов. Защита двигателей от двукрылых насекомых // Турбины и дизели. – 2007. – №1. – С. 20-22.
2. В.Л. Жохов, С.Н. Ленёв. Результаты эксплуатации КВОУ блоков ПГУ ПАО «Мосэнерго» и планы по их модернизации // Новое в российской электроэнергетике. – 2016. – №2. – С. 33-43.
3. В.Л. Жохов, Т. Шрот, М. Канга. Обеспечение качественной фильтрации воздуха ГТУ // Газотурбинные технологии. – 2007. – №7. – С. 22-28.
4. В.И. Феодосьев. Сопротивление материалов // М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 1999. – 592 с.

# ВЫБОР ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК



### 3.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОТИВОМОСКИТНЫМ СЕТКАМ ДЛЯ ГТУ

В предыдущей главе показано, какое существенное влияние на продление жизненного цикла воздушных фильтров КВОУ оказывают противомоскитные сетки в весенне-летний период эксплуатации ГТУ. Однако не все КВОУ ГТУ оснащены штатными противомоскитными сетками. Поэтому перед инженерным составом, эксплуатирующим энергетические ГТУ, остро встает вопрос правильного выбора противомоскитных сеток для установки в КВОУ.

Отечественный рынок предлагает большой выбор противомоскитных сеток для бытовых нужд, выполненных из различных материалов. Например, владельцам домашних животных для защиты жилищ от двукрылых насекомых рекомендуется использовать противомоскитные сетки из прочного стекловолокна со звучным названием «Антикошка».

Противомоскитные сетки для традиционной защиты помещений от насекомых из алюминия не подвержены коррозии, что характерно для других типов металлических сеток. Однако, как показал опыт эксплуатации штатных противомоскитных сеток, алюминиевые сетки подвержены деформации из-за пластичности этого металла (глава 2, Рис. 10б).

Общим для всех предлагаемых рынком противомоскитных сеток является размер их ячеек, варьируемый в небольшом диапазоне от средней величины 1,0х1,0 мм. Согласно данным, приведенным в Таблице 1 главы 1, этот размер ячейки позволяет блокировать проникновение практически всех двукрылых насекомых.

Отдельной опции – противомоскитные сетки для КВОУ ГТУ – на данный момент не существует. Поэтому выбор такой защиты от двукрылых насекомых для энергетических ГТУ, где она отсутствует, приходится выполнять инженерному составу.

Какие же требования можно предъявить к противомоскитным сеткам на основании опыта их эксплуатации на энергетических объектах?

1. Размер ячейки, предотвращающий проникновение самых маленьких двукрылых насекомых, обитающих в данной местности.
2. Небольшой вес (плотность материала).

3. Высокая воздухопроницаемость.
4. Высокая прочность на разрыв.
5. Низкий перепад давления.
6. Слабая или умеренная горючесть.
7. Не подверженность коррозии.
8. Не подверженность деформации.

Большинству этих требований соответствуют синтетические противомоскитные сетки. Выбор характеристик материала противомоскитных сеток должен осуществляться индивидуально для конкретной конструкции КБОУ.



### 3.2. ТЕСТИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕТОК

Для тестирования было предоставлено четыре образца синтетических сеток, как используемых в качестве противомоскитных сеток (№1 и №2), так и планируемых к применению (№3 и №4) на КБОУ ГТУ (Рис. 1).



Рис. 1. Образцы синтетических сеток



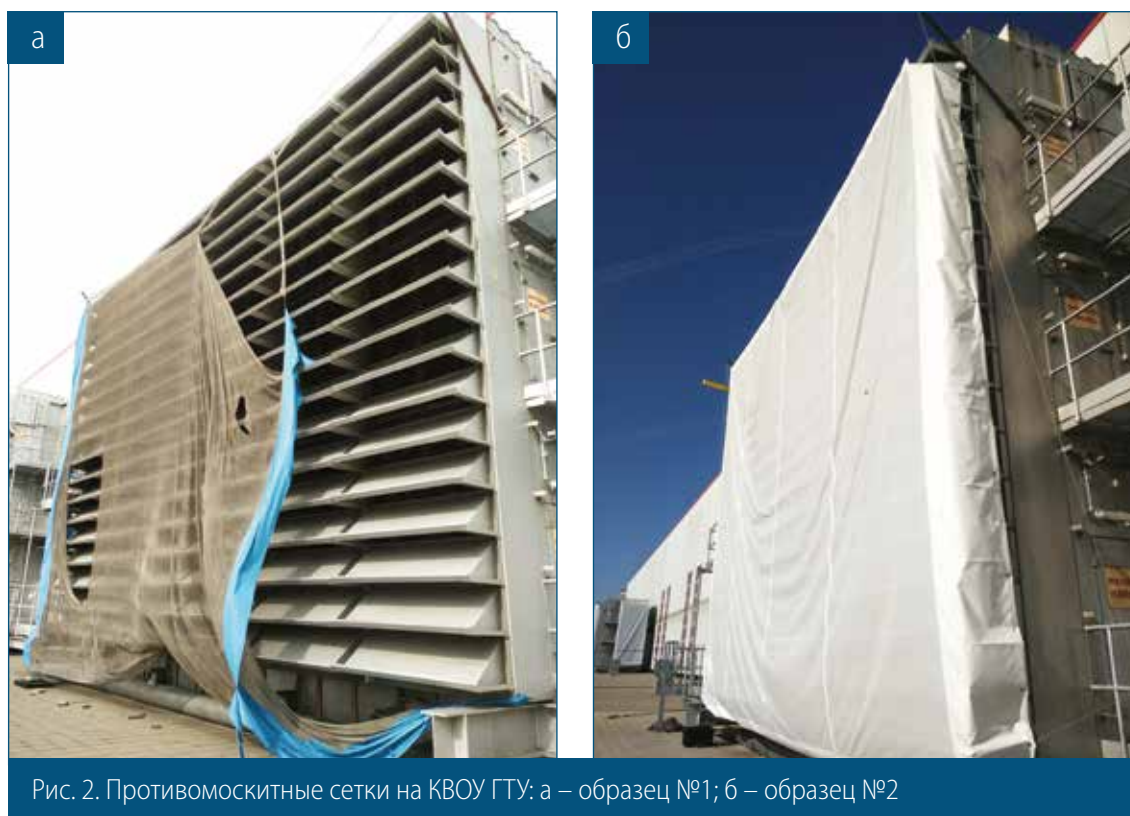


Рис. 2. Противомоскитные сетки на КВОУ ГТУ: а – образец №1; б – образец №2

В процессе эксплуатации противомоскитной сетки образца №1 на КВОУ была отмечена ее легкость, но низкая прочность, что приводило к многочисленным повреждениям и ремонтам фильтровального материала (Рис. 2а).

Сетка, изготовленная из материала образца №2, наоборот, отличалась высокой прочностью, но была очень тяжелой, что усложняло ее установку и снятие с КВОУ ГТУ (Рис. 2б).

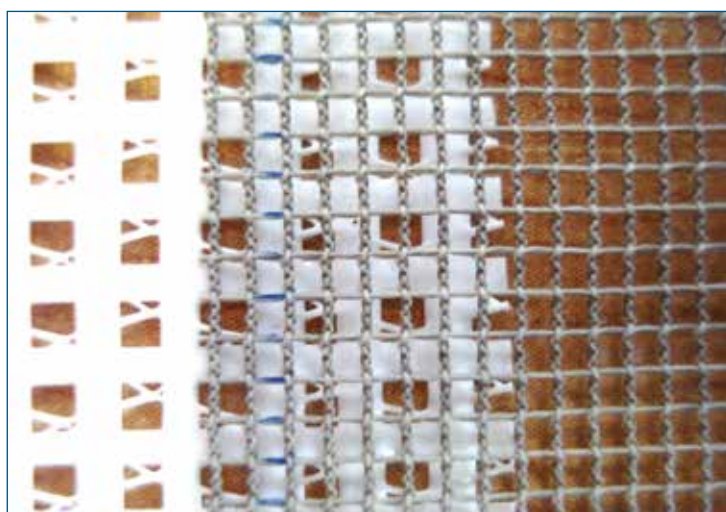


Рис. 3. Сравнение образцов №1 и №2

Кроме того, из-за низкой воздухопроницаемости сетки для поддержания диспетчерского графика электрической мощности ГТУ приходилось частично снимать противомоскитную защиту.

На Рис. 3 методом наложения осуществлено сравнение противомоскитных сеток образцов №1 и №2.

На Рис. 3 хорошо видно, насколько плотнее материал сетки образца №2.

Для выполнения тестирования противомоскитных сеток была разработана методика испытаний в соответствии с выработанными требованиями к данному виду защиты ГТУ от двукрылых насекомых.

### 3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА ОБРАЗЦОВ ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК

С этой целью из материала образцов вырезался круг диаметром 110 мм и площадью примерно 0,01 м<sup>2</sup>. Затем каждая из этих заготовок взвешивалась на электронных весах.

На Рис. 4 зафиксировано взвешивание заготовки образцов №2 и №4.



Рис. 4. Взвешивание образцов: а – образец №2; б – образец №4

### 3.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК

Определение воздухопроницаемости сеток осуществлялось на испытательном стенде XHF-01C-A согласно ГОСТ ISO 9237-2013 «Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости» [1].

Результаты тестирования выводились на монитор прибора, а затем распечатывались. На Рис. 5 представлен образец №4, установленный на испытательном стенде XHF-01C-A с распечатанными результатами теста. Средняя величина



Рис. 5. Образец №4: а – на испытательном стенде; б - с распечатанными результатами теста

количества литров воздуха, проходящего через тестируемую площадь, определялась по трем измерениям.

### 3.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЯЧЕЙКИ И ТОЛЩИНЫ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕТОК



Рис. 6. Электронный микроскоп

Фиксация размеров ячеек образцов сеток осуществлялась на сканирующем электронном микроскопе (Рис. 6).

Образец устанавливался под сканер, увеличивающий размеры сетки в несколько десятков раз, и изображение выводилось на монитор компьютера. На Рис. 7 изображены размеры ячейки образца №3 и толщина его нитей во время процедуры сканирования.



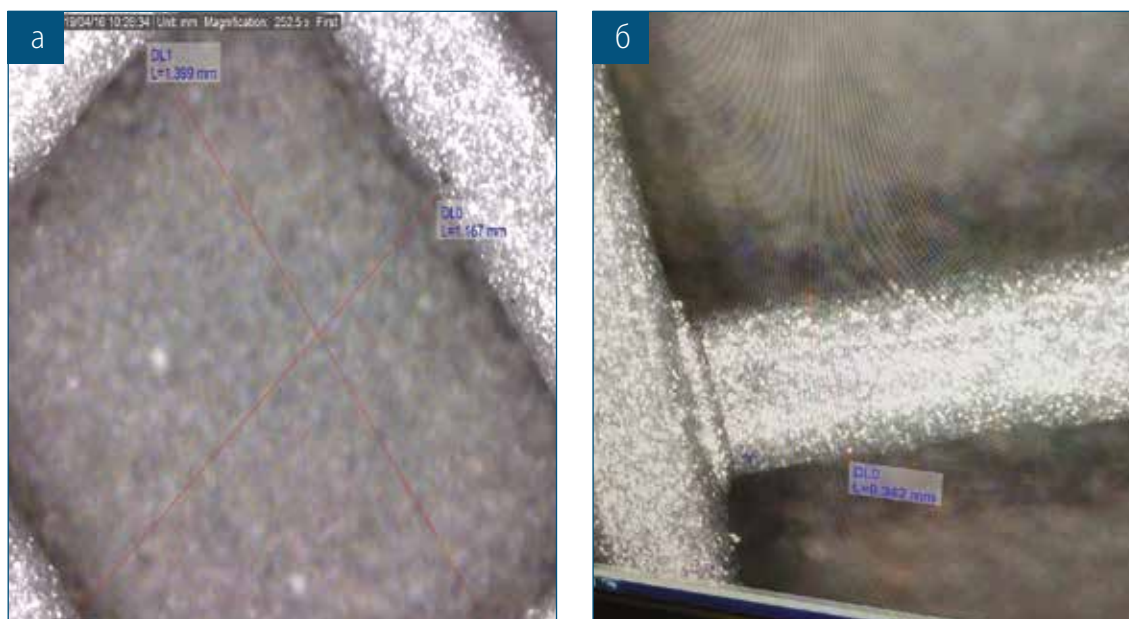


Рис. 7. Размеры образца №3: а – ячейки; б – нити сетки

### 3.2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА ОБРАЗЦАХ СЕТОК



Рис. 8. Образец №2 на испытательном стенде

Тестирование образцов сеток по перепаду давления осуществлялось на аэродинамическом стенде, оснащённом всей необходимой измерительной аппаратурой. Для этой цели из материала образцов сеток вырезались полотна размером 592x592 мм, соответствующие габаритам стандартных воздушных фильтров. Полотна образцов крепились в рамке стандартного фильтра и устанавливались на стенд. На Рис. 8 представлен материал образца №2 во время аэродинамических испытаний на стенде.



Рис. 9. Перепад давления на сетках в зависимости от расхода воздуха

на Рис. 9. На графиках перепада давления в зависимости от расхода воздуха видно, что наибольшее значение этой величины во всем диапазоне измерений имеет образец №2. При расходе воздуха 3400 м³/ч перепад давления на сетке образца №2 составил 151 Па. Теперь становится понятным, почему при установке такой сетки на КВОУ ГТУ не могла набрать заданную электрическую мощность. Графики образцов №1 и №3 практически идентичны (слились на Рис. 9).

Тестирование образцов противомоскитных сеток выполнялось при расходе воздуха через них от 500 до 5200 м³/ч. Сравнение образцов сеток осуществлялось при расходе воздуха 3400 м³/ч, поскольку это значение является номинальным для воздушных фильтров, установленных в КВОУ ГТУ.

Результаты тестирования образцов противомоскитных сеток приведены

### 3.2.5. ТЕСТИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ СЕТОК НА РАЗРЫВ

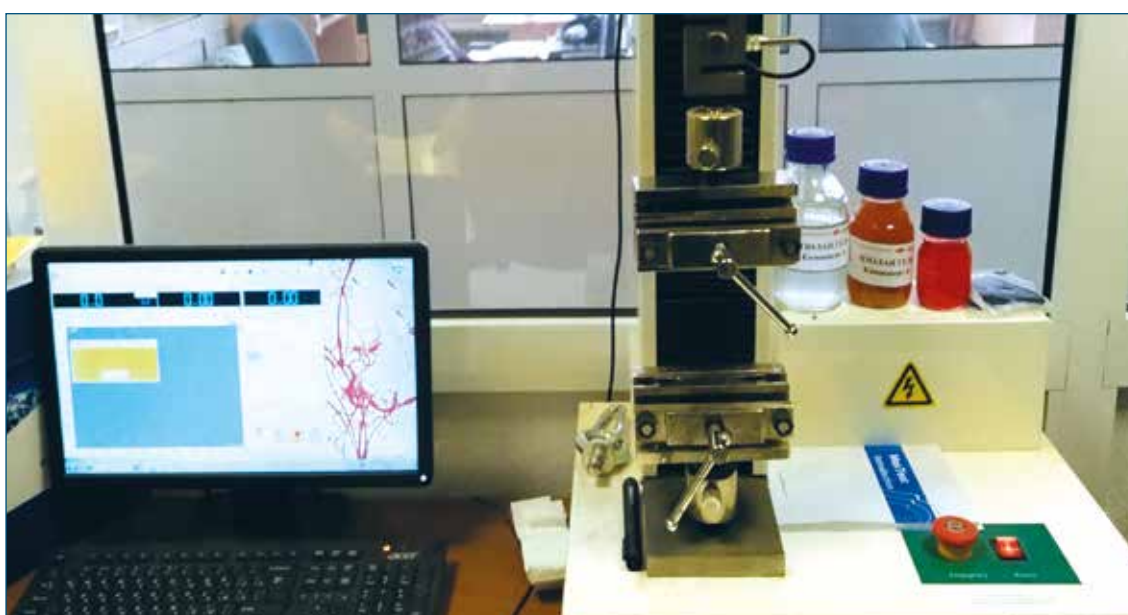


Рис. 10. Стенд XHL-02 Computer Control Tensile Strength Test



Определение нагрузки на разрыв осуществлялось на специализированном стенде XHL-02 Computer Control Tensile Strength Test (Рис. 10) согласно ГОСТ Р 53226-2008 «Полотна нетканые. Методы определения прочности» [2].

Для этой цели из материала различных сеток вырезались образцы размером 50x200 мм (Рис. 11).



Рис. 11. Образцы сеток для тестирования на разрыв

На Рис. 12 изображен образец №1 до и после испытаний на разрыв.



Рис. 12. Тестирование образца №1 на разрыв: а – до начала теста; б – после окончания теста

## 3.2.6. ТЕСТИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ СЕТОК НА ГОРЮЧЕСТЬ

Определение группы горючести материалов осуществляется согласно ГОСТ 30244-94 [3] по предложенной методике испытаний. В СНиП 21-01-97 [4] и Таблице 1 приведены названия материалов, соответствующие группе горючести.

**Таблица 1. Группы и названия горючести строительных материалов**

| Группа горючести по ГОСТ 30244-94 | Г1            | Г2               | Г3                | Г4             |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------------------|----------------|
| Название по СНиП 21-01-97         | Слабо горючие | Умеренно горючие | Нормально горючие | Сильно горючие |

В нашем случае оценка горючести образцов сеток осуществлялась визуально как наиболее приемлемый способ осуществления входного контроля в условиях ТЭЦ. Тестирование образцов сеток проводилось открытым огнем. На Рис. 13 показан фрагмент тестирования образца сетки №4.

По мнению специалистов службы пожарной безопасности ПАО «Мосэнерго», образец №1 относится к умеренно горючим, остальные образцы – нормально горючие.



Рис. 13. Тестирование образца №4 на горючесть



### 3.2.7. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ СЕТОК ОТ ДВУКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ

Обобщенные результаты тестирования противомоскитных сеток, выполненные по разработанной методике, приведены в Таблице 2.

**Таблица 2. Обобщенные результаты тестирования образцов противомоскитных сеток**

| Образец,<br>№ | Вес,<br>г | Воздухо-<br>проницаемость,<br>л/ м <sup>2</sup> /с | Перепад<br>давления,<br>Па | Сила<br>на разрыв,<br>Н |
|---------------|-----------|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1             | 0,56      | 6242,767                                           | 14                         | 149,4                   |
| 2             | 2,24      | 1697,900                                           | 151                        | 1192,4                  |
| 3             | 1,06      | 6100,466                                           | 15                         | 340,2                   |
| 4             | 3,39      | 4545,933                                           | 28                         | 1160,4                  |

**На основании выполненных исследований можно констатировать:**

1. Самая тяжелая сетка – образец №4.
2. Самая легкая сетка – образец №1.
3. Наибольшей воздухопроницаемостью обладает сетка – образец №1.
4. Наименьшей воздухопроницаемостью обладает сетка – образец №2.
5. Наибольшим перепадом давления обладает сетка – образец №2.
6. Наименьшим перепадом давления обладает сетка – образец №1.
7. Наибольшей нагрузкой на разрыв обладает сетка – образец №2.
8. Наименьшей нагрузкой на разрыв обладает сетка – образец №1.

### ВЫВОДЫ

1. В процессе эксплуатации противомоскитные сетки (образцы №1–2) показали свою непригодность для установки на КВОУ ГТУ.
2. Новый образец сетки №4 тяжелее образца №2. Кроме того, он обладает низкой воздухопроницаемостью, что ставит под сомнение возможность его использования на КВОУ ГТУ.

3. Образец №3 обладает промежуточными значениями по сравнению с другими образцами сеток. К его положительным характеристикам можно отнести: высокую воздухопроницаемость, небольшой по сравнению с образцами №2 и №4 вес, низкий перепад давления. К отрицательным: низкое, по сравнению с образцами №2 и №4, значение силы на разрыв. Следует отметить, что величина силы на разрыв образца №3 в 2,27 раза больше, чем у образца №1.

4. Все представленные образцы противомосkitных сеток горючи.

На основании выполненных исследований к использованию на КБОУ ГТУ была рекомендована противомосkitная сетка, изготовленная из материала образца №3. Кроме того, ввиду большой парусности противомосkitной сетки, для усиления ее прочности было рекомендовано укрепить полотно сетки вертикальными полосами из материи.

На Рис. 14 изображена противомосkitная сетка, изготовленная из материала образца №3, установленная на КБОУ ГТУ.

В процессе эксплуатации данная противомосkitная сетка подтвердила свои технические характеристики. Прочность сетки увеличилась, за счет небольшого веса сократилось время ее обслуживания (снятие, очистка, подъем); перепад давления на сетке снизился более чем в 10 раз, по сравнению с сеткой из образца №2.



Рис. 14. Противомосkitная сетка из материала образца №3 на КБОУ ГТУ





### 3.3. ТЕСТИРОВАНИЕ ШТАТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОТИВОМОСКИТНЫХ СЕТОК

Штатные противомоскитные сетки поставляются вместе с КВОУ ГТУ, поэтому не подвергаются выбору. Однако в техническом задании на поставку КВОУ для ГТУ целесообразно указывать требования к противомоскитным металлическим сеткам на основе опыта их эксплуатации (глава 2). К таким требованиям относятся: размеры противомоскитной сетки, металл, из которого она должна быть изготовлена, размеры ячейки сетки, начальный перепад давления. Для противомоскитных сеток больших размеров необходимо указать, нужна ли промежуточная стяжка (дополнительное крепление) посередине полотна сетки для предупреждения ее деформации. Как показал опыт эксплуатации штатных металлических противомоскитных сеток, даже способ их плетения оказывает влияние на начальный перепад давления.

Нами были протестированы три различных штатных противомоскитных сетки, установленных и запланированных к установке на КВОУ ГТУ.

Образец №1 – это штатная противомоскитная сетка, изготовленная из алюминия, устанавливаемая перед теплообменным аппаратом КВОУ ГТУ.

Образец №2 – это штатная противомоскитная сетка, изготовленная из нержавеющей стали, размещаемая на всасе КВОУ перед охлаждающей установкой циклового воздуха ГТУ испарительного типа.

Образец №3 – это штатная противомоскитная сетка, изготовленная из оцинкованной стали, запланированная к размещению на всасе КВОУ перед охлаждающей установкой циклового воздуха ГТУ испарительного типа.

На Рис. 15 показан внешний вид противомоскитных сеток из образцов №1 и №2 (№3).



Рис. 15. Внешний вид противомоскитных сеток из образцов №1 и №2 (№3):  
а – образец №1; б – образец №2 (№3)



Рис. 16. Плетение металлических противомоскитных сеток: а – образец №1; б – образец №2; в – образец №3

Габаритные размеры сетки образца №1: 592x592x4 мм.

Габаритные размеры сеток образцов №2: 1870x940x9 мм.

Габаритные размеры сеток образцов №3: 1870x940x6 мм

Из приведенных данных видно, что толщина сетки образца №2 больше этого параметра остальных образцов. Это отличие обусловлено способом плетения сетки. На данном образце для увеличения плотности и прочности сетки использован способ плетения Твил.

На Рис. 16 для сравнения приведены способы плетения трех образцов металлических противомоскитных сеток, изготовленных из представленных образцов.

Размеры ячейки образца №2 – 1,0x1,0 мм, диаметр проволоки основы 0,8 мм, диаметр уточной проволоки – 0,8 мм. Толщина проволоки образца №1 – 0,5 мм, а размер ячейки в два раза больше – 2,0x2,0 мм.



Интегральным параметром, характеризующим несколько технических характеристик противомоскитных сеток, является начальный перепад давления. Определение перепада давления на образцах металлических противомоскитных сеток для идентичности осуществлялось на том же испытательном стенде, что и на синтетических сетках. Для этого из полотна сетки конкретного образца вырезался лист размерами 592x592 мм, крепился в рамку и устанавливался на испытательный стенд.

На Рис. 17 показан образец сетки №3, установленный на испытательном стенде во время тестирования.

Тестирование металлических сеток осуществлялось при расходе воздуха от 500 до 4500 м<sup>3</sup>/ч. Фиксирование результатов испытаний производилось через каждые 500 м<sup>3</sup>/ч.

Сравнение образцов сеток по перепаду давления выполнялось при расходе воздуха 3400 м<sup>3</sup>/ч, поскольку это значение является номинальным для воздушных фильтров, установленных в КБОУ ГТУ.

На Рис. 18 для сравнения представлены тренды перепада давления на трех представленных образцах сеток. Наибольший перепад давления зафиксирован на сетке образца №2, наименьший – на образце №1.

Повышенный перепад давления на сетке образца №2 обусловлен способом плетения (Твил), который увеличивает ее плотность и прочность, а также толщиной проволоки и размером ячейки.



Рис. 17. Сетка образца №3 на испытательном стенде



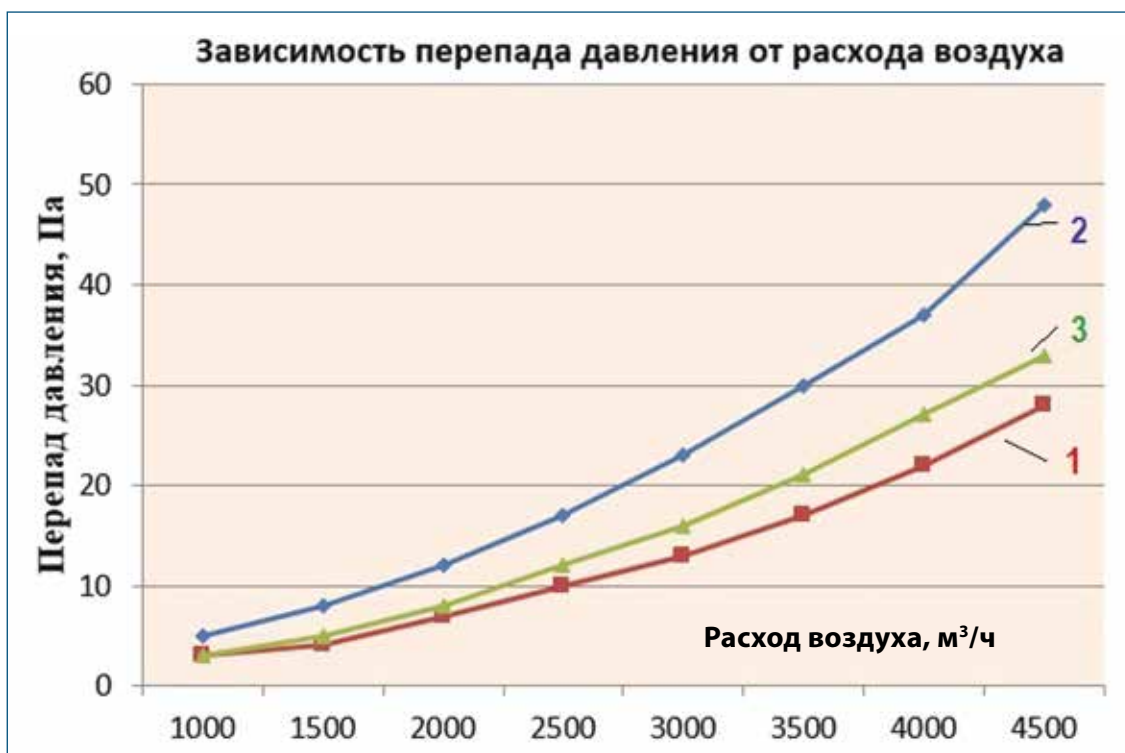


Рис. 18. Зависимость перепада давления образцов сеток от расхода воздуха: 1 – образец №1; 2 – образец №2; 3 – образец №3

## ВЫВОДЫ

1. Начальный перепад давления на сетке образца №2 при номинальном расходе на 11 Па выше, чем на штатной противомоскитной сетке образца №1 и на 7 Па по сравнению с образцом №3, запланированным к установке.
2. Несмотря на изготовление противомоскитной сетки №2 из нержавеющей стали и плетения Твил, ввиду больших габаритных размеров нами была дана рекомендация по усилению конструкции путем установки дополнительной стяжки посредине сетки.
3. Образец сетки №3 занимает промежуточное положение по начальному перепаду давления. Однако, ввиду изготовления из оцинкованной стали мы не рекомендовали его для использования на КВОУ из-за высокой влажности на охлаждающей установке циклового воздуха ГТУ испарительного типа.
4. Штатные противомоскитные сетки должны подвергаться входному контролю с целью проверки заявленных в их паспортах технических характеристик с помощью мерительного инструмента (размер ячеек, толщина проволоки, габаритные размеры) и на аэродинамическом стенде (начальный перепад давления).





### **ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ ISO 9237-2013. «Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости».
2. ГОСТ Р 53226-2008. «Полотна нетканые. Методы определения прочности».
3. ГОСТ 3044-94. Межгосударственный стандарт. «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть».
4. СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

# ЗАЩИТНЫЕ СЕТКИ КВОУ ГТУ ОТ ПТИЦ И МУСОРА



### 4.1. НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СЕТОК ОТ ПТИЦ И МУСОРА

Целесообразность применения защитных сеток от птиц в сельском хозяйстве известна с незапамятных времен. Далеко не всегда удается защитить выращенный урожай от крылатых воришек, наносящих существенный материальный ущерб. Визуальные (пугала в виде хищных птиц) и звуковые имитаторы их криков часто становятся неэффективными, поскольку умные летуны быстро понимают, что реальной угрозы они не несут. Оптимальной альтернативой в этом случае является защитная сетка от птиц, которая является прочной и долговечной преградой.

Еще более актуальной эта задача является в авиации для обеспечения безопасности полетов самолетов. На Рис. 1, сделанном в аэропорту имени Ататюрка (Стамбул, Турция), запечатлено опасное сближение чайки с летящим самолетом.



Рис. 1. Сближение чайки с самолетом

Ярким и героическим событием стало спасение 226 пассажиров Airbus A321 авиакомпании «Уральские авиалинии» 15 августа 2019 года после аварийной посадки самолета в результате попадания птиц в проточную часть обоих турбовентиляторных двигателей.

По соображениям надежности и аэродинамики на турбореактивных авиационных двигателях защитные сетки или заслонки не устанавливаются. На турбовинтовых самолетах и вертолетах защитные сетки от птиц и мусора применяются, поскольку там значительно ниже скорости, следовательно, меньше аэродинамические потери.

В штатном расписании аэропортов предусмотрена орнитологическая служба обеспечения полетов. Ею применяются самые разные средства для отпугивания птиц: сферические зеркала, пожарные машины, периодически проезжающие по взлетной полосе с включенной сиреной и пуском струи воды в воздух. Хорошо себя зарекомендовали светозвуковые и газовые пушки. На Рис. 2 представлен электронный пропановый отпугиватель птиц DBS-E (гром-пушка). Устройство представляет собой так называемую пропановую «пушку», состоящую из основной части и передней части ствола. Основная часть включает в себя электронный блок управления, аккумулятор, камеру сгорания, заднюю часть ствола и редуктор с газопроводом.

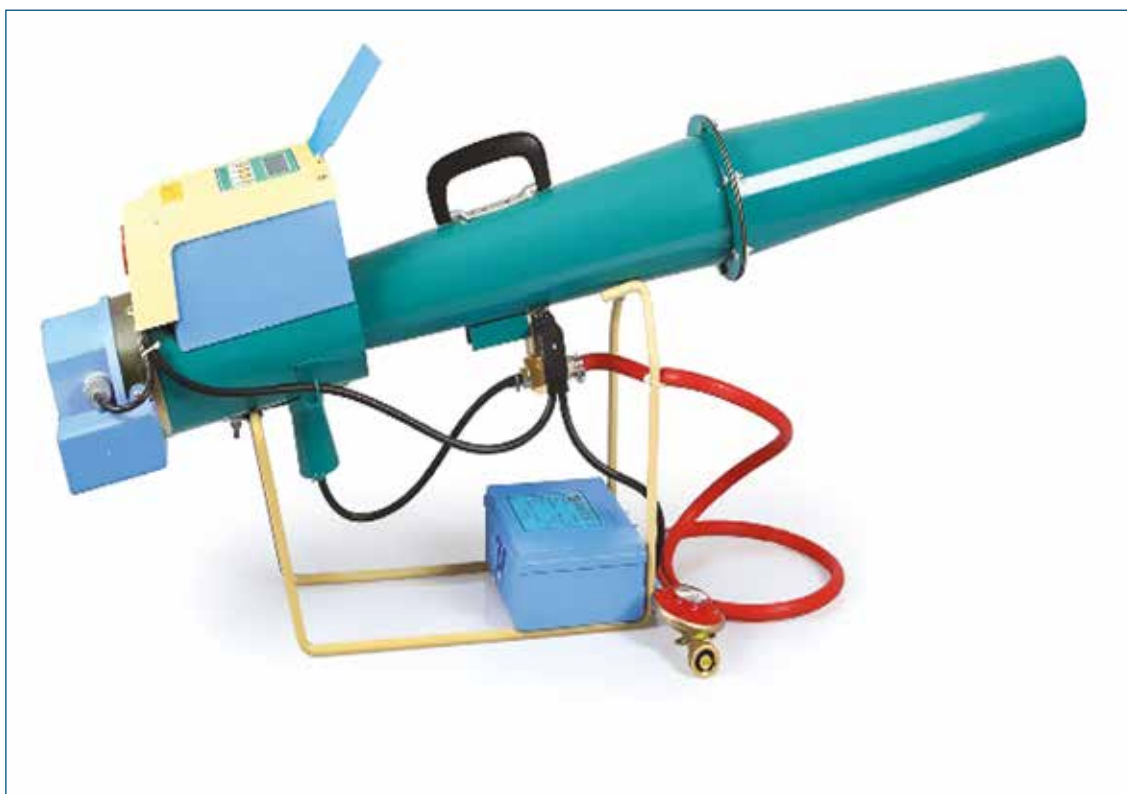


Рис. 2. Пропановая пушка DBS-E

Отпугивание производится с помощью громких хлопков, похожих на звук выстрела из огнестрельного оружия. Для создания хлопков в основную часть «пушки» через установленные промежутки времени закачивается пропан. После чего получившаяся газовоздушная смесь поджигается с помощью электрической искры.

Другими словами, делается все, чтобы птицы не собирались около аэропорта.

В приложении документа «Общие технические требования к системам фильтрации для энергетических газотурбинных установок» ОАО РАО «ЕЭС России» даны рекомендации по комплектации КВОУ для энергетических ГТУ [1]. В состав этого перечня включены защитные сетки от двукрылых насекомых (противомоскитные сетки), а также от птиц и мусора. Попадание птиц и мусора в воздухозаборное устройство энергетической ГТУ не повлечет трагических последствий с гибелью людей, но увеличит перепад давления в КВОУ, что отразится на расходе топливного газа для поддержания заданной Системным оператором нагрузки. При попадании посторонних предметов в теплообменный аппарат (систему анти-айсинга) КВОУ снижается конвективный теплообмен между теплоносителем и обогреваемыми элементами. В результате чего в зимний период времени



Рис. 3. Загрязнение теплообменного аппарата КВОУ ГТУ мусором





может возникнуть обледенение и занос снегом фильтров элементов, установленных в КВОУ ГТУ.

На ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» установлены металлические защитные сетки от птиц и мусора с ячейкой 30х30 мм и толщиной прутка 1,5–3,0 мм. С нашей точки зрения, размер ячейки защитной сетки должен определяться минимальным размером наиболее часто встречающихся видов птиц в конкретном месте эксплуатации ГТУ.

Наиболее распространенным пернатым в мире и нашей стране является домовый воробей. Согласно данным, приведенным в Википедии, длина тела самца воробья составляет от 147 до 180 мм. Размах крыльев от 230 до 264 мм. Самки меньше: их длина от 125 мм до 140 мм. Таким образом, ни самец, ни самка домового воробья по своим габаритным размерам не могут проникнуть через ячейки защитной сетки.

Применение защитной сетки от птиц на КВОУ ГТУ предотвращает попадание пернатых в техническое оборудование и показывает гуманное отношение человека к животным.

Помимо предотвращения попадания пернатых в работающие механизмы, защитные сетки задерживают различного вида мусор, поднимаемый в воздух порывами ветра. Если защитная сетка отсутствует или повреждена, то установленные за ней воздушные фильтры или теплообменный аппарат КВОУ ГТУ будут подвержены сильному загрязнению (Рис. 3).

Для предотвращения попадания мелкого мусора, проникающего через клетки сетки, а также двукрылых насекомых и плодов цветения растений перед теплообменными аппаратами и фильтрами целесообразно устанавливать противомоскитные сетки с более мелким размером ячейки.



#### 4.2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КВОУ

В соответствии с «Общими техническими требованиями к системам фильтрации для энергетических газотурбинных установок» ОАО РАО «ЕЭС России», а также техническим заданием на проектирование, изготовление и поставку комплексного воздухоочистительного устройства к ним предъявляются следующие требования:

1. Комплектация КВОУ и входящие в его состав фильтры должны соответствовать климатическим условиям эксплуатации ГТУ.

2. Конструкция КВОУ должна исключать образование наледей и сосулек, попадание каких-либо предметов в проточную часть ГТУ.



Рис. 4. Лед и снег на фильтрах грубой очистки КВОУ ГТУ

В работе [2] показано, что из-за невыполнения этих требований в процессе проектирования, а также конструктивных ошибок антиобледенительной системы КВОУ на ряде российских ТЭЦ с ПГУ в зимний период времени происходило обледенение и выход из строя воздушных фильтров, приведшее к неплановой остановке ГТУ (Рис. 4).

При определенных параметрах температуры, влажности воздуха и скорости ветра могут возникнуть условия, приводящие к обмерзанию защитных сеток КВОУ от птиц и мусора (Рис. 5) и, как следствие, возникновению неравномерности потока воздуха на входе в ГТУ.

Эксперименты, выполненные в работе «Исследование влияния неравномерности потока на характеристики компрессора» [3], показывают значительное влияние трансформации поля скоростей потока на работу осевых компрессоров. Уменьшение расхода воздуха через осевой компрессор приводит к тому, что практически стационарное осесимметричное течение потока в его проточной части становится неустойчивым. Плавное (безударное) обтекание лопаточного аппарата компрессора нарушается. Углы атаки на рабочие лопатки становятся положительными, в результате чего на них происходит срыв потока, приводящий к возникновению вихревых течений, падению степени повышения давления и к.п.д. компрессора.



Рис. 5. Обмерзание защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ

При дальнейшем уменьшении расхода воздуха и росте углов атаки может возникнуть вращающийся срыв и помпаж, приводящий к разрушению лопаточного аппарата компрессора [4]. Одним из способов предотвращения помпажа является поворот лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) в сторону увеличения расхода воздуха для обеспечения оптимального (безударного) обтекания лопаток осевого компрессора. Однако, при 100% открытии ВНА и продолжающемся снижении расхода воздуха, обусловленном обмерзанием (дресселированием) воздухозаборного устройства, предотвращение нестационарных процессов и обеспечение надежной, эффективной работы компрессора и ГТУ становится проблематичным. Срабатывают антипомпажные устройства и происходит остановка турбомашин.

Вероятность появления наземного обледенения, в том числе изморози, обусловлена не только влажностью воздуха в нижнем приземном слое атмосферы, но и такими климатическими факторами, как наличие переохлажденного дождя, мороси, тумана; перемещение низких слоистых облаков при отрицательной температуре воздуха у поверхности земли; наличие сублимации водяного пара при дымке и тумане, умеренного и сильного ветра в пограничном слое атмосферы и множеством других факторов в различном сочетании. Кроме того,

существенное влияние на обледенение оказывает расположение объектов вблизи рек, водоемов и других источников повышенной влажности.

Эмпирическим путем установлено, что все виды наземного обледенения, вне зависимости от дополнительных климатических факторов, перечисленных выше, происходят при температурах воздуха нижнего слоя атмосферы в пределах от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Однако, помимо естественных, климатических условий возникновения обледенения, существуют искусственные, рукотворные причины, обусловленные ошибками проектирования. Одна из таких часто встречающихся ошибок проектирования – не учет преобладающего направления «розы ветров» и, как следствие, неправильное размещение оборудования на объекте.



#### 4.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБМЕРЗАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СЕТОК ОТ ПТИЦ И МУСОРА КВОУ

##### 4.3.1. ПЕРМСКИЙ КРАЙ

Характерным примером ошибок проектирования, приводящих к обледенению элементов КВОУ и снижению эффективности работы ГТУ Siemens SGT5-4000F-1, является энергоблок ПГУ-400 ГРЭС, расположенной в Пермском крае на берегу реки Яйва (Рис. 6).

Рассмотрим климатические условия эксплуатации оборудования на этой электростанции.

В районе ГРЭС отмечаются холодная многоснежная зима и короткое лето с обильными осадками и коротким периодом жарких дней. На основании многолетних наблюдений установлено:

|                                                                                    |       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Абсолютная минимальная температура, $^{\circ}\text{C}$                             | -48,3 |
| Абсолютная максимальная температура, $^{\circ}\text{C}$                            | +36,7 |
| Среднегодовая температура, $^{\circ}\text{C}$                                      | +1,1  |
| Средняя месячная относительная влажность воздуха, %                                |       |
| – наиболее холодного месяца                                                        | 85    |
| – наиболее жаркого месяца                                                          | 69    |
| Продолжительность отопительного периода составляет, суток                          | 236   |
| Продолжительность периода с температурой $\leq 0^{\circ}\text{C}$ составляет, дней | 145   |





Рис. 6. КВОУ ГТУ ГРЭС

В атмосферной циркуляции доминирует меридиональное перемещение воздушных масс с наибольшей повторяемостью южных ветров. Скорости ветра умеренные, со среднегодовым значением 3,6 м/с.

В соответствии с этими данными и ГОСТ 16350-80 климат района определен как умеренно-холодный.

Представленные данные показывают, в каких тяжелых климатических условиях работает ПГУ-400 ГРЭС. Низкие температуры, длительный период отопительного сезона вследствие продолжительного времени года с температурой  $\leq 0^{\circ}\text{C}$ , существенно влияют на эффективность работы ГТУ и предъявляют высокие требования к надежности ее оборудования.

Расположение ГРЭС на берегу реки Яйва обуславливает высокую влажность при низкой температуре окружающего воздуха. Как известно, этот фактор может оказывать заметное влияние на эксплуатацию ГТУ. В результате изменения теплофизических свойств рабочего тела меняется степень повышения давления в компрессоре, теплоперепады в газовой турбине и их к.п.д.

Для определения преобладающего направления ветра используют «розу ветров», построенную по результатам многолетних наблюдений конкретной местности. В соответствии с данными проектной организации, в холодный и теплый периоды времени преобладающим в районе ГРЭС является южное направление ветра.

С помощью системы «Глонасс» были выполнены рекогносцировка КВОУ на территории ГРЭС и сопоставление полученных данных с «розой ветров» (Рис. 7).

Из представленных данных видно, что наибольшему воздействию пыли, согласно «розе ветров», подвергаются фильтры, установленные на правой стороне КВОУ.

Кроме того, с этой же стороны КВОУ располагается атмосферная труба расширительных дренажей паровой турбины (обозначена цифрой 1). Срез этой трубы возвышается незначительно над верхним модулем правого всаса КВОУ. Следовательно, при преобладающем южном направлении ветра влажный пар из расширительных дренажей паровой турбины (выпар) будет поступать на вход правой и центральной части КВОУ.



Рис. 7. КВОУ ГТУ ГРЭС с «розой ветров»



Рис. 8. Влажный пар из расширительных дренажей паровой турбины

В летние месяцы повышенная влажность и температура будут отрицательно сказываться на эффективности работы фильтров коагуляторов первой ступени КВОУ. В зимнее время это чревато обмерзанием защитных сеток, предотвращающих попадание посторонних предметов и птиц в КВОУ.

К этому следует добавить, что башенная градирня мокрого типа также находится с южной стороны КВОУ, а его центральная часть обращена непосредственно к реке Яйва.

В результате рекогносцировки воздухозабора ГТУ на территории ГРЭС в соответствии с «розой ветров» установлено, что наибольшему воздействию пыли, а также изменению температуры, влажности и обмерзанию подвергаются правая и центральная часть КВОУ.

В зимний период времени существенное влияние на работу его воздушных фильтров оказывает выпар из атмосферной трубы с расширительных дренажей паровой турбины.

На Рис. 8 отчетливо видно, как облако влажного пара поступает на вход КВОУ с правой стороны. При низкой температуре окружающей среды влажный пар из расширительных дренажей паровой турбины конденсируется и, оседая на



защитных сетках от птиц и мусора, превращается в иней и лед (Рис. 9). Изменение агрегатного состояния водяного пара происходит настолько быстро, что установленный за защитными сетками теплообменный аппарат (ТА) не оказывает существенного влияния на процесс их обмерзания.

ТА предназначен для подогрева атмосферного воздуха, поступающего в КВОУ, с целью предотвращения обмерзания воздушных фильтров, установленных за ним (вниз по потоку к ГТУ). Поэтому конвективный теплообмен между холодными и теплыми массами воздуха вверх по потоку (у защитных сеток) практически не осуществляется.

При небольшой скорости ветра южного направления влажный пар задерживается над КВОУ, обволакивая его густой пеленой тумана. В этом случае все три воздухозабора КВОУ одновременно подвержены воздействию повышенной влажности (то же самое происходит в зимний период во время испарения воды в реке Яйва при любом направлении ветра). При усилении южного ветра влажный пар не обволакивает все КВОУ, а перемещается вдоль него справа налево. Поэтому наибольшему воздействию влажности подвержены верхние модули, особенно правой и центральной части КВОУ.

Таким образом, в зависимости от скорости преобладающего южного направления ветра наблюдаются две картины образования локальной области повышенной влажности в районе КВОУ.

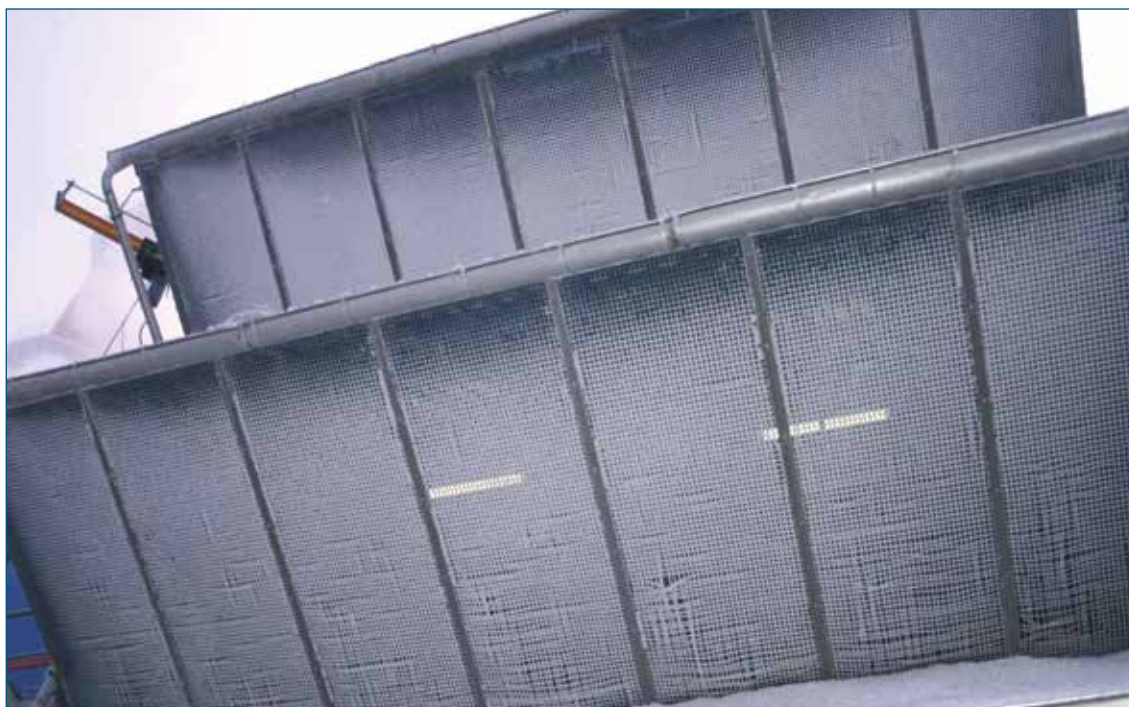


Рис. 9. Обмерзание защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ ГРЭС



Температура пара, по мере его продвижения вдоль КВОУ, а также сверху вниз, уменьшается, тем самым снижается интенсивность обмерзания защитных сеток по высоте. Поэтому плотность инея, образующегося на сетках, неравномерна по поверхности и уменьшается справа налево и сверху вниз (Рис. 10).

Обмерзание защитных сеток сопровождается ростом перепада давления на них, дросселированием входного сечения воздухозабора, приводящего к снижению расхода циклового воздуха ГТУ. При наиболее интенсивном обмерзании защитных се-



Рис. 10. Изменение плотности инея по высоте сетки от птиц и мусора

ток правого и центрального входа КВОУ расход воздуха через его левую часть может увеличиться, что приведет к росту перепада давления и повышенной пылевой нагрузке на фильтрах, приводящей к сокращению их срока службы.

Следует отметить, что конструкцией КВОУ не предусмотрена установка датчиков, фиксирующих перепад давления на защитных сетках. Мониторинг изменения давления в трехступенчатой системе фильтрации циклового воздуха ГТУ осуществляется штатными контрольно-измерительными приборам на одном из фильтров каждой ступени очистки воздуха и всем КВОУ. Поэтому перепад давления на защитной сетке от птиц и мусора определялся по перепаду давления на первой ступени фильтрации КВОУ.

В процессе эксплуатации в зимний период времени отмечались случаи, когда перепад давления на фильтрах коагуляторов (первая степень фильтрации) составлял 80% предельно допустимой величины возрастания давления в КВОУ, что приводило к снижению выработки электроэнергии ГТУ на 1,2%. Обращает на себя внимание тот факт, что такой перепад давления на фильтрах первой ступени и КВОУ наблюдался не в летние месяцы, когда земля не покрыта снегом и в

воздухе достаточно большое количество пыли, а в зимний период эксплуатации ГТУ. Повышенный перепад давления в КВОУ наблюдался не только при изменении давления на фильтрах, но и при обмерзании защитных сеток.

В процессе эксплуатации очистка защитных сеток КВОУ от обмерзания осуществлялась механическим способом (путем сбивания наледи) силами оперативного персонала ГРЭС. Один машинист энергоблока осуществлял очистку защитных сеток КВОУ в течение получаса. За рабочую смену таких очисток могло быть несколько, что приводило к незапланированным трудозатратам по обслуживанию КВОУ.

Эффективность механической очистки защитных сеток от льда и инея определялась путем мониторинга трендов параметров фильтров КВОУ и ГТУ. Ежеминутное, пошаговое фиксирование параметров этих величин дает дифференциальную картину процессам, происходящим с фильтрами и ГТУ (ПГУ).

На Рис. 11 представлены тренды изменения давления на фильтрах коагуляторах ( $P_1$ ), в КВОУ ( $P_{\text{КВОУ}}$ ), а также относительной влажности ( $\Psi$ ) и активной мощности энергоблока ( $N$ ).

Процесс очистки защитных сеток КВОУ от инея происходил при постоянной нагрузке энергоблока по диспетчерскому графику генерации при 85% положении ВНА, температуре окружающей среды  $-18^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 85%.

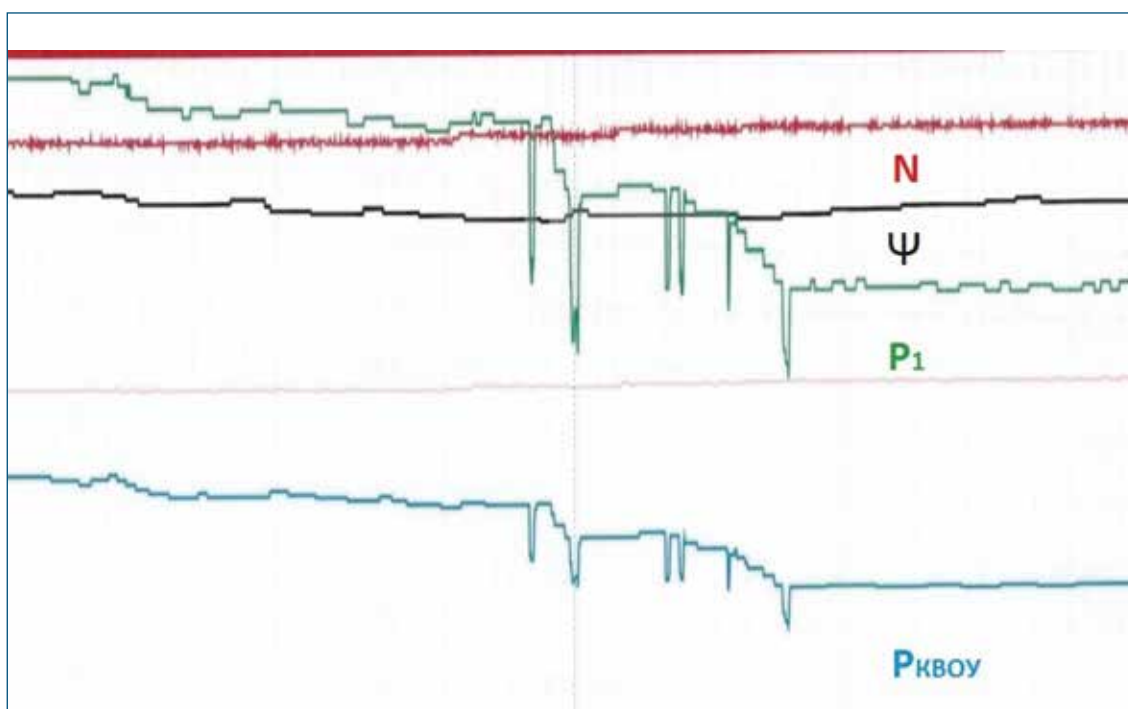


Рис. 11. Тренды изменения давления на фильтрах коагуляторах и КВОУ ГТУ



По этим трендам можно судить, как менялся перепад давления на фильтрах и КВОУ по мере очистки защитных сеток от инея (льда) и об эффективности этой процедуры. Наибольшая величина снижения перепада давлений была зафиксирована на фильтрах коагуляторах. Перепад давления в КВОУ имел тренд, аналогичный флуктуациям давления на фильтрах коагуляторах. Всего в течение нескольких минут перепад давления на фильтрах коагуляторах уменьшился на 225 Па, а мощность энергоблока увеличилась на 3,35 МВт.

Эти цифры наглядно показывают, какое негативное воздействие на эффективность и надежность работы ГТУ оказывает отсутствие учета климатических условий, природных и рукотворных источников повышенной влажности, а также преобладающего направления «розы ветров» при размещении оборудования на этапе проектирования блоков ПГУ.

**Таким образом, можно констатировать следующее:**

1. Проектной организацией при разработке проекта энергоблока не была учтена «роза ветров». В результате чего выпары из атмосферной трубы с расширительных дренажей паровой турбины поступают прямо в правый всас КВОУ. Кроме того, с этой же (южной) стороны расположена градирня мокрого типа, а центральная часть КВОУ расположена прямо напротив реки Яйва.
2. КВОУ изготовлено без учета сложных климатических условий, в которых эксплуатируется ГРЭС. Не учтены повышенная влажность окружающей среды, обусловленная парением реки Яйвы в зимний период времени. Теплообменный аппарат КВОУ не обеспечивает обогрев защитных сеток от птиц и мусора.

Факторы, изложенные в пунктах 1 и 2, оказывают существенное влияние на обмерзание защитных сеток КВОУ, рост аэродинамических потерь на входе в ГТУ и недовыработку электроэнергии ПГУ.

#### 4.3.2. МОСКВА

Другим примером обмерзания защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ является ТЭЦ, расположенная на юге Москвы. Здесь нет экстремальных минусовых температур и парения от рядом протекающей реки, как на ГРЭС в Пермском крае. Расстояние между этими двумя электростанциями по прямой составляет 1233 км. Но, как и в первом случае, причиной обмерзания защитных сеток является неоптимальное размещение рукотворного источника влажного пара (вентиляторной градирни) по отношению к КВОУ ГТУ.





Рис. 12. Обмерзание защитной сетки от птиц КВОУ ГТУ

В зимний период при направлении ветра с севера на юг влажные пары воздуха от вентиляторной градирни поступают на всас КВОУ, приводя к обмерзанию защитной сетки от птиц и мусора (Рис. 12). В результате чего проходное сечение воздухозабора дросселируется, снижается расход воздуха и растет перепад давления на КВОУ, что ведет к снижению эффективности работы ГТУ Siemens SGT5-4000.

Надо отметить, что негативное влияние влажного пара от вентиляторных градирен, поступающего на всас КВОУ ГТУ, отмечалось и на других энергетических объектах.



Рис. 13. Пар от градирен на всасе КВОУ ГТУ

Так на ТЭЦ, расположенной в Северо-Западном Административном округе г. Москвы, в процессе эксплуатации было установлено, что в зимний период поступление пара с повышенной температурой на всас КВОУ вызывало снижение расчетной нагрузки ГТУ SGT5-4000F на 5–8 МВт (Рис. 13). В результате чего ТЭЦ вынуждена была подавать диспетчерские





Рис. 14. Сосульки на погодных козырьках КВОУ ГТУ

заявки на снижение мощности энергоблока ПГУ по причине невозможности несения номинальной нагрузки.

Кроме того, в результате знакопеременных температур на всасе КВОУ на его металлоконструкциях образуются сосульки значительных размеров, падение которых с большой высоты угрожает здоровью обслуживающего персонала и влечет повреждение оборудования (Рис. 14).

Другим источником влажного пара на всасе КВОУ являются барботеры, расположенные непосредственно у воздухозабора ГТУ. На Рис. 15 представлен вид из воздухозаборного тракта (ВЗТ) ГТУ на выпары барботера, расположенного вблизи одного из всасов КВОУ.

Помимо обмерзания сеток, повышение влажности воздуха на всасе КВОУ в результате уноса капельной влаги из градирен, барботеров, дренажей паровых турбин приводит к дополнительной водной нагрузке на воздушные фильтры очистки циклового воздуха ГТУ. В результате чего перепад давления на них возрастает, а эффективность фильтр-элементов снижается, что приводит к увеличению расхода топливного газа для поддержания электрической нагрузки, установленной Системным оператором.



Рис. 15. Выпары барботера на всасе КВОУ ГТУ



#### 4.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОБМЕРЗАНИЯ ЗАЩИТНЫХ СЕТОК ОТ ПТИЦ И МУСОРА КВОУ ГТУ

Для предотвращения обмерзания защитных сеток на КВОУ ГРЭС на реке Яйва было принято решение о модернизации ВЗТ ГТУ с помощью установки системы электрообогрева клеток металлической защитной сетки от птиц и мусора.

Система электрообогрева предназначена для автоматического включения нагревательных секций при снижении температуры окружающей среды ниже заданной во избежание замерзания защитных сеток КВОУ.

В качестве исполнительных элементов системы электрообогрева используются секции, выполненные из саморегулирующегося греющего электрического кабеля, размещенного на металлических клетях защитной сетки внутри погодных козырьков КВОУ (Рис. 16).

Применение в системе обогрева саморегулирующихся нагревательных секций имеет следующие характерные особенности:

- с изменением температуры обогреваемого объекта или окружающей среды греющий кабель пропорционально меняет тепловыделение (уменьшает при повышении температуры и наоборот), что позволяет более рационально расходовать энергопотребление на систему электрообогрева;



Рис. 16. Саморегулирующийся греющий электрический кабель в КВОУ ГТУ ГРЭС

- свойства саморегулирования также повышают безопасность и надежность системы: секции не перегреваются и не перегорают даже при пересечении соседних ниток друг с другом.

Источником питания потребителей системы электрообогрева является однофазный электрический ток напряжением  $\sim 220\text{В}$ , частотой 50 Гц. Общая установочная мощность оборудования составляет 47,16 кВт.

В системе электрообогрева предусмотрены меры основной и дополнительной защиты от поражения электрическим током при прямом и косвенном прикосновениях и защиты от токов короткого замыкания. Греющий электрический кабель имеет все разрешения и сертификаты в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Для целей автоматического регулирования температуры обогреваемых объектов применен терморегулятор с функцией установки требуемой температуры и отображения ее текущего значения. Терморегулятор предназначен для преобразования и обработки данных, поступающих от датчиков сопротивления, а также для управления включением и отключением нагревательных секций. Компоненты управления системой электрообогрева размещены в шкафу управления.

В качестве чувствительных элементов системы электрообогрева используется термометр сопротивления. Поскольку при преобладающем южном направлении ветра наибольшему обмерзанию подвержены верхние модули КВОУ,





Рис. 17. Обмерзание защитной сетки от птиц и мусора при работающем электрокабеле

термометр сопротивления устанавливается непосредственно на самом верхнем ярусе. Он предназначен для сигнализации об изменении температуры обогреваемой поверхности.

Поскольку вероятность возникновения обледенения, вне зависимости от дополнительных климатических факторов, определяется напрямую диапазоном температур от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ , система электрообогрева не функционирует постоянно. Следовательно, она является энергоэффективной с точки зрения экономии расхода электроэнергии.

Применительно к условиям ГРЭС, установки срабатывания системы электрообогрева были изменены с  $+5^{\circ}\text{C}$  на  $-5^{\circ}\text{C}$ , поскольку появление инея на защитных сетках от птиц и мусора КВОУ отмечалось при более низких температурах. Таким образом, саморегулирующийся нагревательный кабель включается в работу, начиная с  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Преимуществами установки системы электрообогрева защитных сеток КВОУ являются:

- современное решение проблем наледи без механического повреждения защитных сеток при их очистке и без привлечения оперативного персонала ГРЭС;
- автоматическая работа системы без участия персонала;
- энергоэффективность, достигаемая с помощью саморегулирующегося нагревательного кабеля и системы управления;
- система обогрева с использованием саморегулирующегося нагревательного кабеля достаточно проста при проведении монтажных работ.





Предполагалось, что данное техническое решение позволит обеспечить защиту сеток КВОУ от обледенения вне зависимости от сложности погодных условий. Однако, как показал опыт эксплуатации саморегулирующегося греющего электрического кабеля в течение шести лет, эта антиобледенительная система не всегда полностью защищала сетки КВОУ ГТУ от обмерзания.

На Рис. 17 изображена защитная сетка от птиц и мусора КВОУ ГРЭС в зимний период времени при включенном электрическом кабеле.

Как видно на Рис. 17, наледь образуется не только на металлических клетях сетки, но и на самом греющем электрокабеле. Этот факт говорит о недостаточно отлаженной системе регулирования температурой греющего электрического кабеля.

Следует отметить, что концентрация наледи уменьшается от периферии защитной сетки КВОУ к ее основанию (Рис. 10). Это объясняется тем, что основание защитной сетки от птиц и мусора расположено ближе всего к теплообменному аппарату (анти-айсингу) КВОУ, размещенному непосредственно за этой сеткой.

Надежность этой системы характеризуется тем, что в течение шести лет эксплуатации имел место один отказ саморегулирующегося греющего электрического кабеля, причем случилось это во время сильного обледенения элементов КВОУ.

Сравнение работы ГТУ при исправном, хотя и не обеспечивающем полное предотвращение обмерзания защитных сеток от птиц и мусора, КВОУ и неисправном устройстве говорит в пользу принятого технического решения. Хотя и оно требует доработки.

Аналогичная система предотвращения обмерзания защитных сеток от птиц и мусора была применена немецкой компанией Freudenberg для КВОУ ГТУ Solar Taurus 70 на предприятии компании Meggle в городе Вассербург (пер. – «Замок на воде»), в 55 км от Мюнхена (Бавария) (Рис. 18). Город находится на полуострове, образованном рекой Инн. Климат умеренно теплый, минимальная температура наружного воздуха в январе  $-4,6^{\circ}\text{C}$ , влажность высока из-за полуостровного расположения города.

Кроме этой системы, для предотвращения заноса снегом карманных фильтров первой ступени (коагуляторов) очистки циклового воздуха ГТУ в этом КВОУ установлены инфракрасные (ИК) обогреватели [5]. Такие ИК-обогреватели воздушных фильтров применяются с 2007 года и на других КВОУ ГТУ, эксплуатируемых в различных частях Германии (Рис. 19).

В отличие от привычных конвекторов, ИК-обогреватели нагревают не воздух в помещении, а предметы, находящиеся в них. В зависимости от размещения



Рис. 18. Саморегулирующийся греющий электрический кабель в КВОУ ГТУ Solar Taurus 70

воздушных фильтров в КВОУ ИК-обогреватели могут устанавливаться как в горизонтальном (Рис. 19), так и вертикальном положении (Рис. 20) [6].

Двухступенчатая система предотвращения обмерзания защитных сеток от птиц и мусора, а также фильтров первой ступени очистки воздуха ГТУ применяется в КВОУ, не снабженных традиционной штатной системой анти-айсинга.



Рис. 19. ИК-обогреватели для предотвращения заноса снегом фильтров первой ступени КВОУ ГТУ



Рис. 20. Вертикальное размещение ИК-обогревателей в КВОУ ГТУ

На ТЭЦ, расположенной на юге Москвы, для устранения обмерзания защитных сеток от птиц и мусора КВОУ Alstom GT 26B было применено оригинальное техническое решение. Ввиду большой высоты КВОУ (четыре яруса) и отсутствия площадок обслуживания, с которых можно было бы осуществлять устранение наледи, как это первоначально делалось на ГРЭС в Пермском крае, к защитным сеткам от птиц и мусора были прикреплены веревки, позволяющие осуществлять очистку сеток с крыши энергоблока путем стряхивания (Рис. 21).

Данный метод очистки защитных сеток от наледи основан на известном принципе вибрации. Для таких целей могут использоваться пневматические, электрические вибраторы, а также электро- и пневмомолотки, установленные на каркас сеток от птиц и мусора КВОУ.

Каждый из этих методов очистки имеет право на существование. Однако применение того или иного устройства должно соответствовать конкретным климатическим условиям эксплуатации ГТУ.

Так, например, применение пневматических вибраторов (молотков) в условиях низких температур и высокой влажности может привести к образованию конденсата в импульсных трубках этих устройств и выходу их из строя. Исключить эту проблему





Рис. 21. Очистка защитных сеток от птиц и мусора КВОУ методом стряхивания



Рис. 22. Электрический молоток компании Nippon Magnetics INC

возможно с помощью электрических вибраторов и молотков. Для реализации данного технического решения предлагается использовать электрический молоток (Explosion-proof Electro Hammer (Knocker) Maghammer SIC-2EX) компании Nippon Magnetics INC (Рис. 22).

Но, как и в случае пневматических устройств,



механические воздействия электрических молотков на металлические конструкции защитной сетки могут привести к повреждению их металлических клеток и крепежа.

В качестве примера положительного использования вибромолотков в газотурбинных технологиях надо отметить их применение в системе очистки проточной части газотурбинного двигателя ГТД-1250 (мощность 1250 л.с.) отечественных танков Т-80У. С целью предупреждения отложений спекшейся пыли на лопатках турбины высокого давления, приводящей к снижению мощности двигателя, была разработана и применена система пневматической виброочистки. В автоматическом режиме по специально разработанной циклограмме осуществлялось механическое воздействие специальных молотков по корпусу ГТД [7].

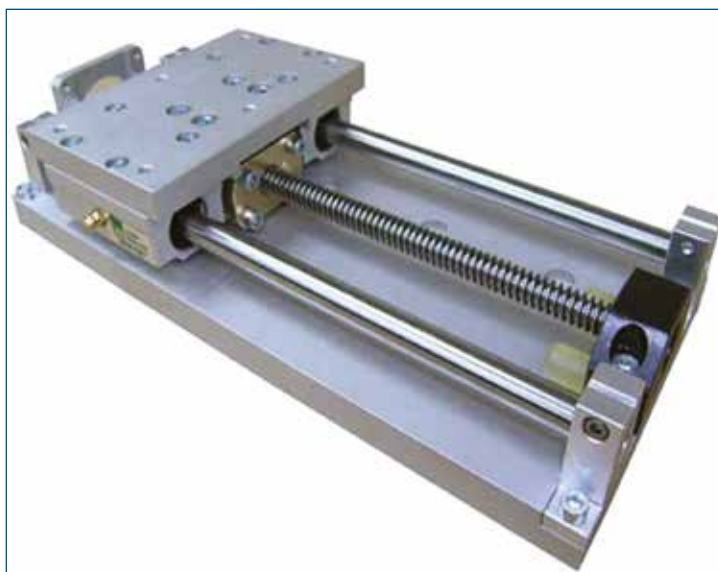


Рис. 23. Модуль линейного перемещения

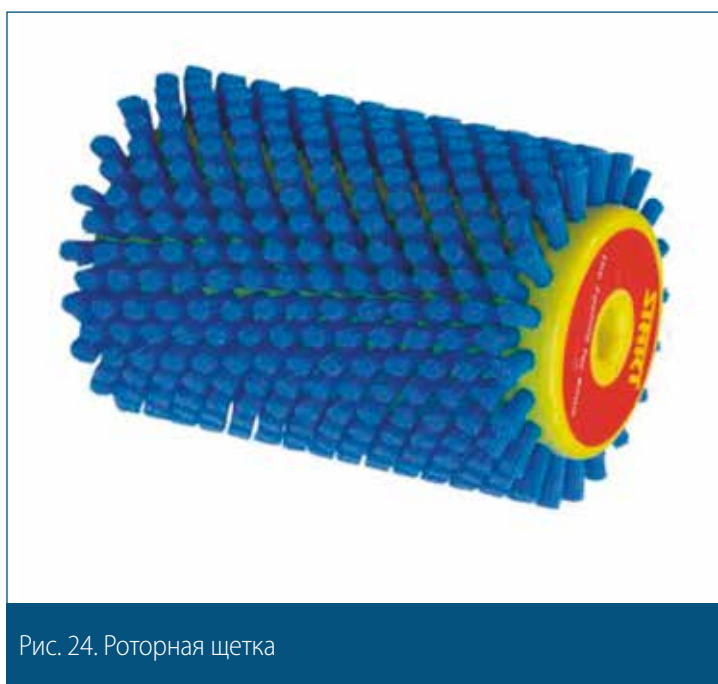
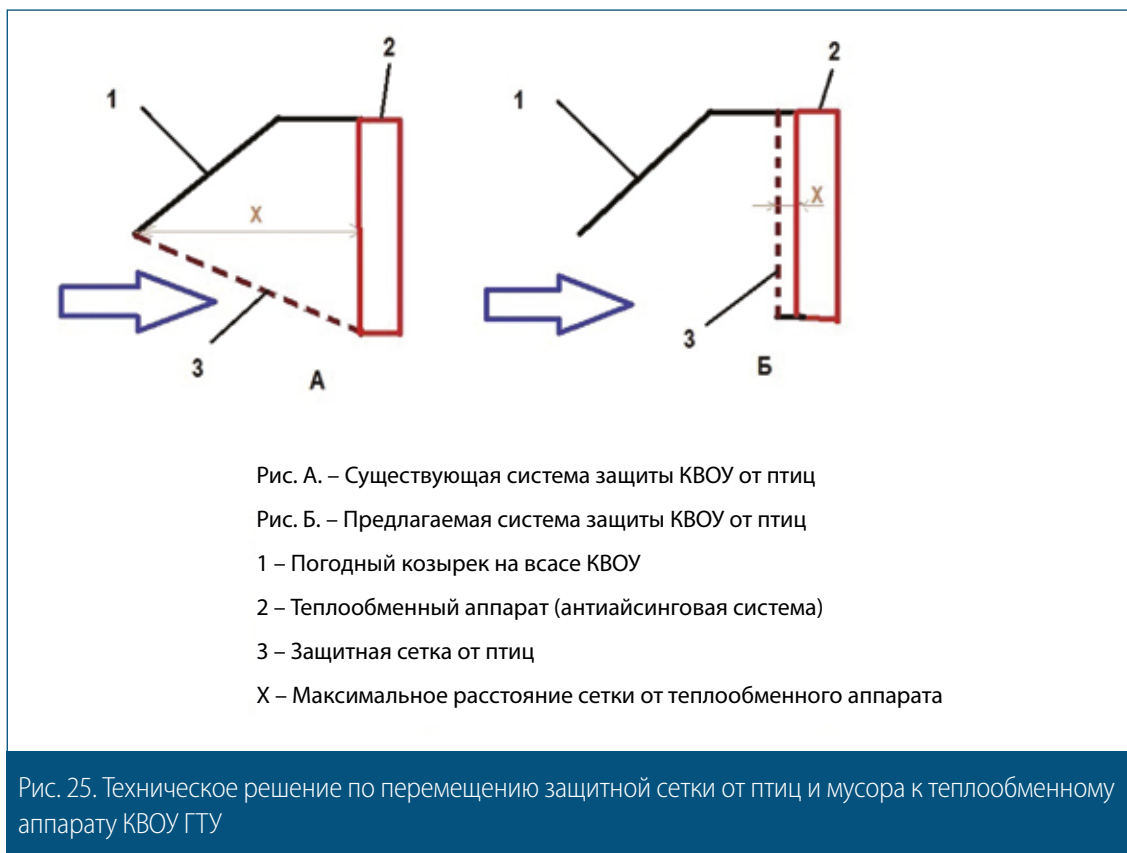


Рис. 24. Роторная щетка

Другим техническим решением, предлагаемым для очистки защитных сеток от обледенения, являются модули линейного перемещения (Рис. 23). На металлический каркас сетки КВОУ устанавливается электропривод с кареткой, на которой фиксируются роторные щетки (Рис. 24). В отличие от американских электрических молотков, модули линейного перемещения производятся подмосковной компанией «Завод мехатронных изделий» (ЗМИ) применительно для российских условий.



Конструктивно модули производства «ЗМИ» состоят из основания (несущий силовой элемент) с закрепленными на нем рельсовыми или цилиндрическими направляющими качения. На фланцевых опорах установлена трансмиссия, крутящий момент к которой передается от двигателя через компенсирующую муфту. В качестве трансмиссии могут выступать шарико-винтовые передачи, трапецеидальный винт или рейка. За счет движения трансмиссии происходит перемещение каретки модуля, которая, в свою очередь, служит базовой платформой для крепления на ней всевозможных механизмов и устройств, включая роторные щетки.

Однако, с нашей точки зрения, такое техническое решение может быть рассмотрено для использования очистки противомоскитных сеток, а не защитных сеток от птиц. В зимний период времени роторные щетки сами могут быть подвержены заносу снегом и обмерзанию в условиях повышенной влажности окружающей среды.

В процессе анализа опыта эксплуатации КВОУ ГРЭС в Пермском крае было установлено, что плотность инея, образующегося на защитных сетках от птиц и мусора, неравномерна по поверхности и уменьшается сверху вниз (Рис. 10). Таким образом, чем ближе защитная сетка расположена к теплообменному аппарату КВОУ, тем меньше она подвержена обледенению.



Следовательно, для предотвращения обмерзания защитных сеток от птиц необходимо увеличить конвективный теплообмен между источником тепла и объектом нагрева путем уменьшения максимального зазора  $X$  между теплообменным аппаратом (анти-айсинговой системы) КВОУ и сеткой, как это показано на Рис. 25Б. При сравнении Рис. 25А (существующая система защиты) и Рис. 25Б (предлагаемая система защиты), становится очевидной техническая целесообразность такого решения. Ввиду одинакового по высоте зазора между теплообменным аппаратом и сеткой будет осуществляться более интенсивный и равномерный по высоте обогрев всаса КВОУ ГТУ, снижающий вероятность обмерзания его элементов.

Такое техническое решение было реализовано на КВОУ ГТУ ТЭЦ, расположенной на юге Москвы. В результате перемещения защитной сетки от птиц и мусора ближе к теплообменному аппарату КВОУ максимальное расстояние  $X$  было сокращено в 6 раз.

В случае, если перемещение защитной сетки от птиц и мусора ближе к теплообменному аппарату (анти-айсинговой системе) КВОУ невозможно или нецелесообразно по техническим причинам, для предотвращения обмерзания возможен обогрев защитных сеток с помощью ИК-обогревателей, как показано на Рис. 26.

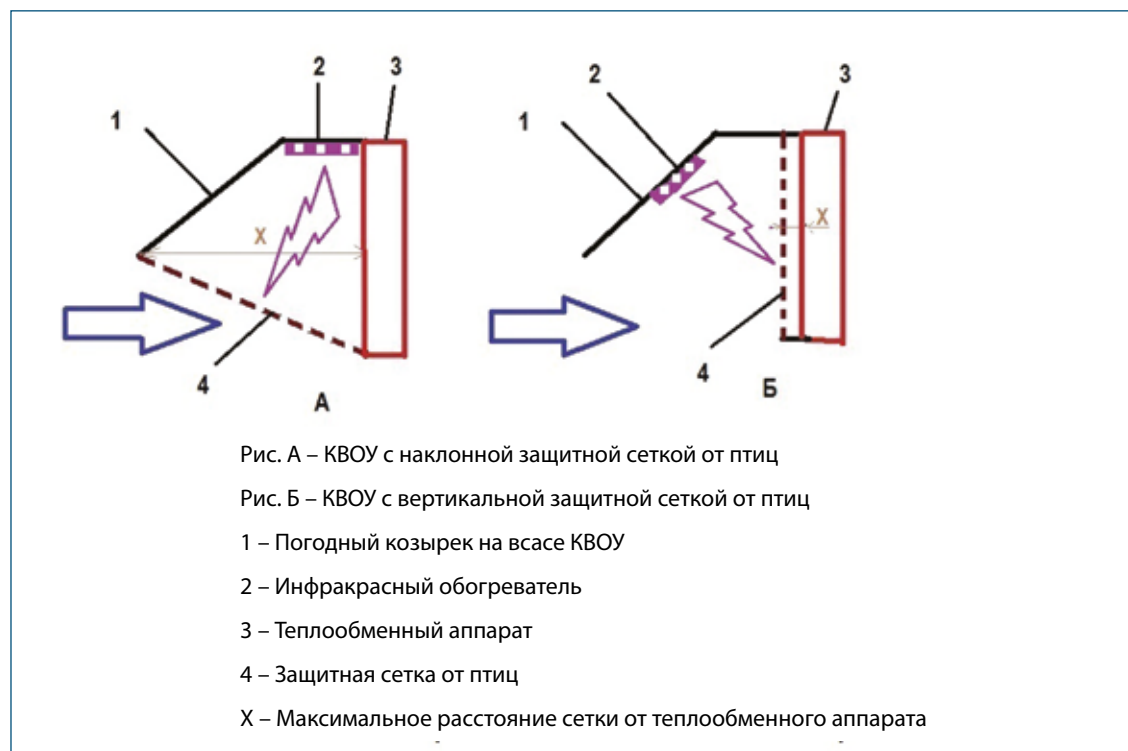


Рис. 26. Техническое решение по предупреждению обмерзания защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ с помощью ИК-обогревателей

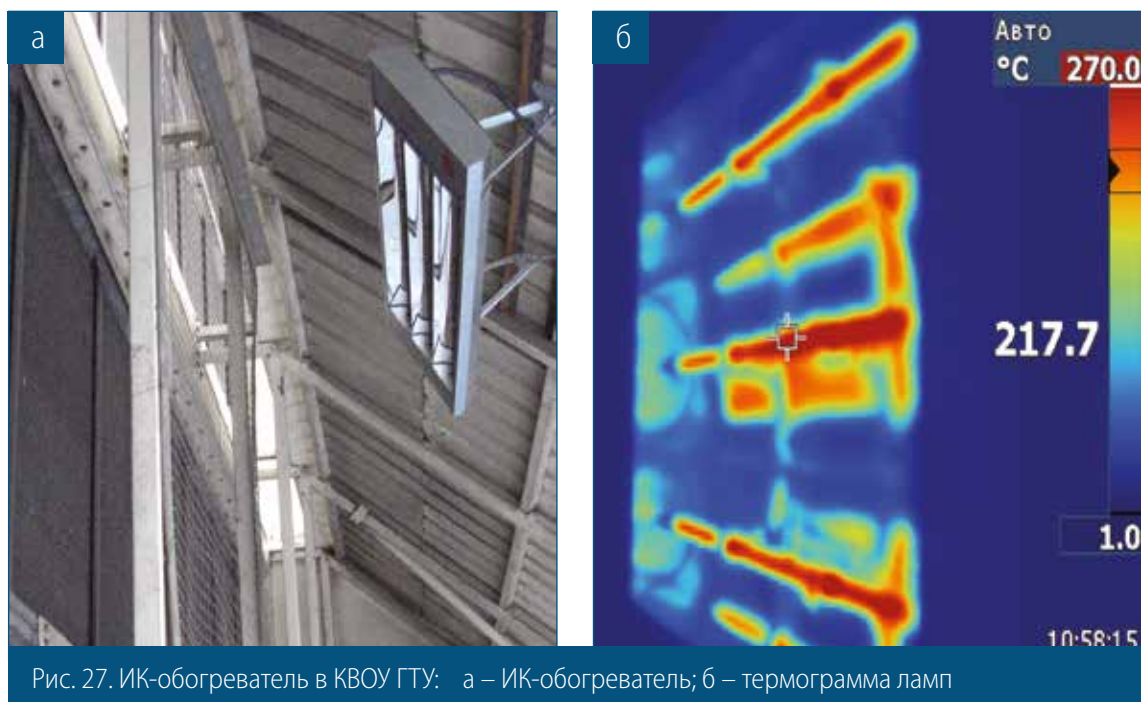


Рис. 27. ИК-обогреватель в КВОУ ГТУ: а – ИК-обогреватель; б – термограмма ламп

При наклонном размещении защитной сетки ИК-обогреватель целесообразно крепить внутри погодного козырька КВОУ, как показано на Рис. 26А. Для защитных сеток от птиц и мусора КВОУ, установленных вертикально (параллельно) к теплообменному аппарату, крепление ИК-обогревателей осуществляется внутри погодных козырьков под углом к защитной сетке и анти-айсинговой системе (Рис. 26Б). Такое размещение ИК-обогревателей (ближе к сеткам) позволяет, при той же мощности ламп, более интенсивно воздействовать не только на защитные сетки от птиц и мусора, но и на теплообменный аппарат КВОУ.

На Рис. 27б показана реализация схемы установки ИК-обогревателя мощностью 3 кВт под погодным козырьком КВОУ ГТУ и термограмма нагрева его ламп. Температура ламп ИК-обогревателя на максимальном режиме достигает 300 °C всего за три минуты включения. Наибольший эффект от применения таких ИК-обогревателей достигается при установке их на расстоянии 600–1000 мм от объекта нагрева.





## ВЫВОДЫ

1. Расстояние между станцией в Вассербурге (Германия) вблизи Мюнхена в западной Европе и ГРЭС, расположенной в Пермском крае, на востоке европейской части России, в Предуралье, составляет 3200 км по прямой. Несмотря на это значительное расстояние и различные климатические условия, на двух энергетических объектах применено одинаковое техническое решение по предотвращению обмерзания защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ с помощью саморегулирующегося электрического кабеля.
2. В процессе эксплуатации данного устройства для обогрева защитных сеток от птиц и мусора на энергетическом объекте в городе Вассербург в условиях повышенной влажности в течение восьми лет отмечается его высокая эффективность и надежность по предупреждению обмерзания.
3. Несмотря на недочеты в работе системы обогрева защитных сеток от птиц и мусора с помощью саморегулирующегося электрического кабеля КВОУ ГТУ на ГРЭС в Пермском крае, данное техническое решение можно рекомендовать для борьбы с наледью в сложных климатических условиях низких температур и высокой влажности атмосферного воздуха.
4. Интересным и перспективным техническим решением по предупреждению обмерзания защитных сеток от птиц и мусора является применение инфракрасных обогревателей. Опыт применения этих устройств для обогрева воздушных фильтров первой ступени в КВОУ ГТУ на энергетических объектах Германии показывает их эффективность.
5. Применение данных технических решений позволяет минимизировать последствия ошибок, допущенных в процессе проектирования блоков ПГУ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. «Общие технические требования к системам фильтрации для энергетических газотурбинных установок» ОАО РАО «ЕЭС России», 2008.
2. Жохов В.Л., Кондратьев Ю.Г. Состояние рынка систем фильтрации воздуха энергетических ГТУ отечественных ТЭЦ // Новое в российской электроэнергетике. – 2010. – №3. – С. 46-55.
3. Жохов В.Л., Лохматов А.А. Исследование влияния неравномерности потока на характеристики компрессора // Судостроение. – 1986. – №4. – С.19–20.
4. Жохов В.Л. Помпаж в одноступенчатых нагнетателях // Энергомашиностроение. – 1988. – №3. – С.10-12.
5. Viledon News. 2011. issue #2.
6. Viledon Ice Protect Brochure, June 2011.
7. Основной боевой танк России. Откровенный разговор о проблемах танкостроения // Часть 3, глава 7. Пыль – враг №1 танкового двигателя. ([www.arsenal-info.ru](http://www.arsenal-info.ru)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе впервые представлены требования к противомоскитным сеткам для КВОУ энергетических ГТУ. Разработана методика тестирования нештатных и штатных противомоскитных сеток. Выполнено тестирование синтетических и металлических противомоскитных сеток. На базе полученных результатов даны рекомендации по выбору и входному контролю противомоскитных сеток. Рекомендованная к установке нештатная синтетическая противомоскитная сетка успешно эксплуатируется на КВОУ ГТУ.

Показаны проблемы, возникающие при эксплуатации защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ в зимний период, и способы их устранения.

Представленная в учебном пособии информация позволит инженерному составу, эксплуатирующему энергетические ГТУ, самостоятельно принимать правильные решения по выбору нештатных противомоскитных сеток и входному контролю штатной защиты от двукрылых насекомых. Приведенные технические решения по предупреждению обмерзания и обледенения защитных сеток от птиц и мусора КВОУ ГТУ значительно облегчат инженерам блоков ПГУ выбор наиболее оптимального решения этой проблемы.



**В.Л. Жохов, С.Н. Ленёв**

**ЗАЩИТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ ОТ ДВУКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ  
И ПЛОДОВ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ**

Учебное пособие для инженерного состава  
блоков ПГУ и ГТУ

Подписано в печать с готовых монтажей: 28.01.2020

Формат 210x297. Гарнитура Myrid Pro.

Бум. 100 гр/м., офсетная. Тираж 100 экз.

Типография «Медиаколор»  
Москва, Сигнальный проезд, д. 19  
site@mediacolor.ru, mediacolor.ru  
+7 (499) 903-69-52





