



КЛУБ  
ПРАВИЛЬНЫХ  
ИНЖЕНЕРОВ

2017 | №4

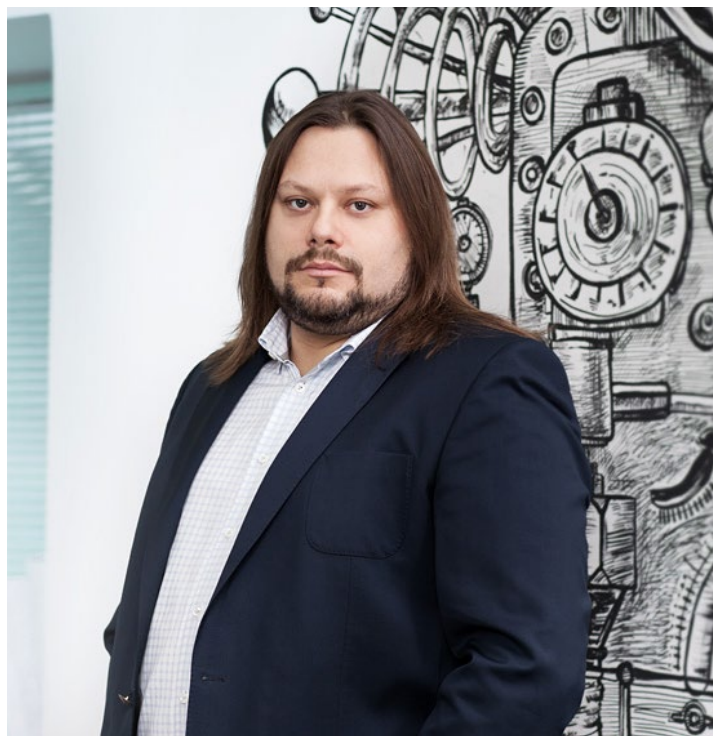
информационный журнал компании «Первый инженер»

**АБХМ.**  
Превращаем  
**тепло** в **холод**

**ре**  
**Х**ВОЛЮЦИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ:  
**СИСТЕМА ПИ**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НПЗ.  
**ЧЕК ЛИСТ ДЛЯ ПКС**





## Коллеги,

Моей личной истории в области энергетики в этом году исполнилось 18 лет. И когда история эта начиналась, состояние предприятий, с которыми мне доводилось работать, с точки зрения организации энергетической инфраструктуры, часто было удручающим. В некотором смысле работу поставщиков энергосберегающего оборудования или инженеринговых компаний это делало проще — элементарные мероприятия и проверенные западные решения, внедряемые там, где доселе сливали конденсат в канализацию, а пар от трубы считали показателем ее рабочего состояния, давали колоссальный эффект, устраивавший клиента и приносивший исполнителю репутацию эксперта.

Но, как мало общего между новорожденным и человеком на пороге совершеннолетия, так непохожа сегодняшняя промышленная энергетика России на ту, прежнюю. Ресурсы умеют считать и экономить, за соблюдением норм и экологических стандартов следят, системы тепло- и электроснабжения реконструируют (или строят) таким образом, чтобы минимизировать потери энергии. Достигаемые результаты дают предприятиям стимул двигаться дальше, а нам — искать решения для задач более высокого уровня и развивать новые компетенции. Я уверен, что такое движение — единственно верный путь для инженеринговой компании, стремящейся быть для своих заказчиков партнером «надолго».

В статьях этого выпуска мои коллеги рассказывают о тех перспективных направлениях в развитии энергетической инфраструктуры предприятия, которые могут принести дополнительный качественный и экономический эффект. Надеюсь, кому-то из наших читателей эта информация поможет выбрать вектор движения в наступающем году.

Желаю приятного чтения.

И конечно, поздравляю вас с наступающим Новым Годом и Рождеством! Желаю мира, добра и благополучия вам и вашим семьям!

М.В. Баклыгин



Перейти в группу>>



Перейти в группу>>

## СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА:

Валентин Рубцов

АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ  
МАШИНЫ. ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛА  
В ХОЛОД

3

Владимир Гриненко

СИСТЕМА «ВЫСШЕГО ПОРЯДКА».  
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.

5

Дмитрий Балюк

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ  
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ.  
ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ  
ПАРОКОНДЕНСАТНОЙ СИСТЕМЫ

8

Михаил Волобуев

АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ  
ПРОДУВКИ ПАРОВОГО КОТЛА

9

Денис Маршинский

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ.  
КОРОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОВ

11

---

## Редакция:

Мы будем рады острым вопросам, критическим замечаниям и новым идеям, которые помогут нам сделать «Клуб ПИ» более актуальным и полезным для читателей. Если у вас появится вопрос по опубликованным в журнале материалам, присылайте его в редакцию, и автор статьи обязательно ответит вам.

Если вы считаете, что наш журнал будет интересен вашим коллегам, дайте нам знать, и мы включим их в список рассылки. Ждем ваших писем на [club@1-engineer.ru](mailto:club@1-engineer.ru)

Во втором номере журнала «Клуб ПИ» мы поднимали тему утилизации низкопотенциального тепла в промышленном секторе с помощью [теплонасосных установок](#) и абсорбционных тепловых машин (АБТМ) в режиме работы тепловых насосов в частности. Такие установки могут использоваться в режиме холодильной машины (АБХМ), обеспечивая охлаждение жидких сред до 5°C независимо от температуры окружающей среды.

Сегодня предлагаем вам несколько подробнее ознакомиться с технологией и областями ее применения.

# АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ. ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛА В ХОЛОД

## Из истории вопроса

Первые абсорбционные холодильные машины, разработанные в XIX веке, использовали в качестве абсорбента серную кислоту. Уже в XX веке сам Альберт Эйнштейн приложил руку к созданию одного из таких аппаратов. Но пионером в этой области все же стал французский инженер Фердинанд Филипп Карре (1824–1900). В 1850 году он со своим братом Эдмондом изобрёл абсорбционную холодильную машину, работавшую на смеси воды и концентрированной серной кислоты. Усовершенствованная модель этой машины была запатентована им во Франции в 1859 году, а через несколько лет он представил холодильную машину, работающую на аммиачном цикле.

В наше время в качестве абсорбента наибольшее распространение получил водный раствор бромида лития (LiBr), применяемый в абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машинах (АБХМ). Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) как рабочая среда используется и по сей день в водо-аммиачных холодильных машинах (АВХМ), но, поскольку аммиак — взрывопожароопасное сильнодействующее ядовитое вещество, его применение строго регламентируется соответствующими правилами безопасности (ПБ 09-595-03 и т.п.). При этом промышленный объект (участок или площадка), где используется АВХМ, с большой долей вероятности должен иметь статус химически опасного объекта, что сопряжено с дополнительными трудностями для эксплуатирующей организации (вплоть до получения соответствующей лицензии).

Абсорбционные холодильные машины используют двухкомпонентный раствор хладагента и абсорбента. Примечательно, что бромид лития и аммиак в соответствующих типах холодильных машин (ХМ) играют разные роли. Бромид лития играет роль абсорбента, а в цикле АБХМ нагревается и испаряется хладагент — вода. В цикле АВХМ вода используется уже в роли абсорбента, а хладагентом же

выступает аммиак. Собственно, физика этих процессов и обуславливает возможность цикла с бромидом лития охлаждать рабочую среду до температуры не ниже 5°C, в то время как на водо-аммиачных холодильных машинах можно получить более глубокий порог охлаждения.

Не следует путать абсорбцию и адсорбцию\*. Мы рассматриваем именно абсорбционные холодильные машины, хотя отдельные производители предлагают и адсорбционные установки (в них в качестве хладагента используется вода, а в качестве адсорбента — твердый гигроскопичный силикагель).

## Как работает АБХМ?

Абсорбционная холодильная машина — пароконденсационная холодильная установка. Для простоты и однозначности толкования всех терминов рассматриваем одноступенчатую АБХМ (абсорбционную бромисто-литиевую холодильную машину). Сам принцип ее работы основан на способности хладагента (воды) испаряться за счет его поглощения (абсорбции) абсорбентом (бромидом лития). Процесс испарения — эндотермическая реакция — происходит в условиях вакуума с поглощением теплоты, подведенной к Испарителю с охлаждаемой водой (см. рис.1). Концентрированный раствор абсор-

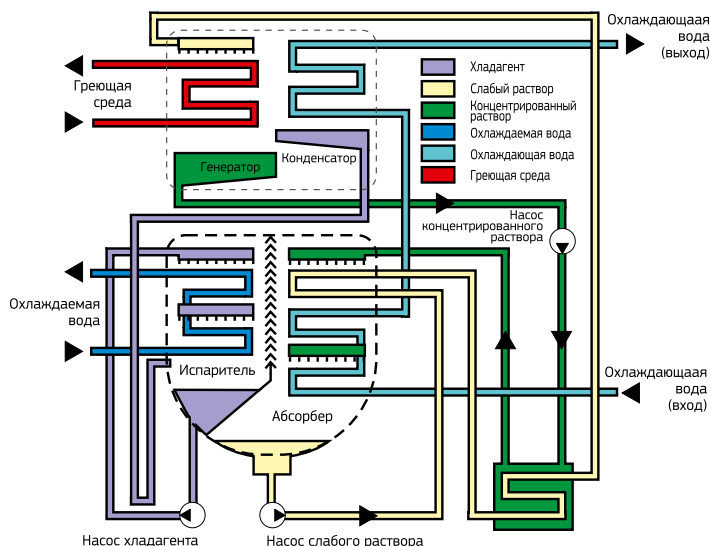


Рис.1. Устройство одноступенчатой АБХМ.

\* Специально для тех, кто не может запомнить разницу между *абсорбцией* и *адсорбцией*:



**Абсорбция** (лат. *absorptio* — поглощение, от *absorbeo* — поглощаю), поглощение веществ из газовой смеси жидкостями.

**Адсорбция** (от лат. *ad* — на, при и *sorbeo* — поглощаю), поглощение вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твердого тела.





бента, подающийся в Абсорбер, поглощает пары воды, превращаясь в слабый (разбавленный) раствор. При последующем его нагреве (от внешнего источника тепловой энергии — греющей среды) в Генераторе пары воды выделяются из абсорбента, поступая в Конденсатор, где конденсируются, превращаясь в воду, которая, расширяясь, поступает в Испаритель, тем самым замыкая цикл. Изменение концентрации хладагента в Абсорбере и Генераторе сопровождается изменением температуры насыщения. Для снижения потерь энергии при циркуляции абсорбента между Абсорбером и Генератором устанавливается рекуперативный теплообменник. Для обеспечения работы АБХМ необходимо присутствие еще одного контура — контура охлаждающей воды, предназначенного для отведения от АБХМ низкопотенциальной, «отработанной» тепловой энергии.

Все процессы в АБХМ протекают под вакуумом, что исключает попадание рабочего вещества и абсорбента во внешние теплоносители.

## Классификация АБХМ

В описанной выше схеме охлаждаемая вода — это именно та среда, которую требуется охладить, а греющая среда — это внешний источник тепловой энергии, в качестве которого может использоваться пар (как низкопотенциальный, так и высокопотенциальный), вода различных параметров, горячие дымовые газы котлов, печей или выхлопные газы генераторных установок, а также непосредственно теплота сгорания топлива в самом контуре АБХМ (АБХМ прямого нагрева).

Такая вариативность возможных источников тепла как раз и определяет главную линию классификации, которой придерживаются все современные производители АБХМ:

- АБХМ нагрева горячей водой (hotwater-firedchiller), использующая в качестве источника тепла горячую воду (от 75°C и выше);
- АБХМ парового нагрева (steam-firedchiller), использующая в качестве источника тепла пар (75-200°C);
- АБХМ нагрева уходящими газами (exhaust-firedchiller), использующая в качестве источника тепла дымовые газы котлов, печей или выхлопные газы генераторных установок (250-600°C);
- АБХМ прямого нагрева (direct-firedchiller), использующая в качестве источника тепла топливо (природный газ, мазут, дизельное топливо).

Таким образом, АБХМ — это холодильная установка, работающая за счет тепловой энергии, а не электричества. Единственные потребители электроэнергии в АБХМ — перекачивающие насосы. Они же являются и единственными движущимися механизмами в составе ХМ.

## Эффективность и критерии выбора

Эффективность АБХМ характеризуется холодильным коэффициентом COP (coefficient of performance), т.е. отношением холодопроизводительности машины к потребляемой тепловой мощности.

Для **одноступенчатых АБХМ** коэффициент COP составляет 0,6-0,8. Идеальная одноступенчатая АБХМ могла бы обеспечить холодильный эффект, равный количеству тепловой энергии, подведенной к ней (т.е.  $COP=1,0$ ), однако, из-за термодинамических потерь в реальных установках холодильный эффект всегда будет меньше затрат тепловой энергии. Поскольку холодильный коэффициент установок такого типа всегда меньше единицы, одноступенчатые АБХМ целесообразно использовать в случаях, когда есть возможность утилизации тепловой энергии (например, сбросного тепла производств).

В сравнении с одноступенчатыми АБХМ более высокой эффективностью обладают **двухступенчатые модели**, первый образец

которых был разработан в 50-х годах XX века. В этих установках, в отличие от одноступенчатых холодильных машин, используется два конденсатора или два абсорбера с тем, чтобы обеспечить более эффективное выделение хладагента из абсорбента при меньших затратах тепловой энергии. В таких машинах коэффициент COP достигает значения 1,4. В качестве источника тепловой энергии в машинах этого типа может использоваться перегретый пар высокого давления либо различные виды горючего топлива. Двухступенчатые АБХМ целесообразно использовать в тех случаях, когда стоимость электрической энергии высока относительно стоимости топлива. Кроме того, двухступенчатые АБХМ могут применяться в случаях, когда есть источник перегретого пара высокого давления. Их эффективность выше, но при этом они отличаются и более высокой стоимостью по сравнению с одноступенчатыми машинами, что обуславливается в том числе применением дорогостоящих материалов высокой коррозионной стойкости (из-за более высоких рабочих температур в цикле), большей площадью поверхности теплообмена, более сложной системой управления.

Следующий этап развития АБХМ — **трехступенчатые абсорбционные холодильные машины**. Их холодильный коэффициент COP заявлен на уровне 1,8. Несмотря на то, что изобретение таких аппаратов пришлось на 80-е годы прошлого столетия, а первая трехступенчатая АБХМ была запатентована еще в 1985 году, аппараты такого класса до сих пор не производятся серийно (несмотря на наличие амбициозных заявлений отдельных производителей), а их назначенный ресурс не подтвержден опытно. Связано это по большей части с уже упомянутой проблемой применения в конструкции установок материалов, стойких к процессам коррозии, происходящим внутри аппаратов при высоких рабочих температурах, которые в трехступенчатых АБХМ еще выше, чем в двухступенчатых. Стоимость таких АБХМ значительна, поэтому экономическая целесообразность их применения должна определяться индивидуально в зависимости от особенностей конкретного объекта.

## Воздействие на окружающую среду

Поскольку в АБХМ хладагентом является вода, то они практически не оказывают влияния на озоновый слой атмосферы и развитие так называемого парникового эффекта.

Выбросы (эмиссия) от абсорбционных холодильных машин зависят от условий их применения. Если холодильная машина интегрирована в когенерационную систему и питается тепловой энергией из этой системы, то такая ХМ никакого негативного накапливающегося эффекта для окружающей среды не имеет. Если же рассматривать отдельно взятую АБХМ прямого нагрева, то здесь определяющими факторами будут тип используемого топлива для получения тепловой энергии и применяемая технология сжигания. Природный газ как достаточно дешевый и чистый вид топлива получил наибольшее распространение в АБХМ прямого нагрева. Тем не менее, меры безопасности, касающиеся выбросов вредных газов (оксидов азота в частности), в подобных ХМ должны соблюдаться, а контроль должен проводиться в соответствии с действующими нормативами и регламентами.

В какой бы отрасли промышленности и в какой бы сфере не рассматривался вопрос о применении АБХМ, ключевым фактором всегда будет являться экономическая сторона. Несмотря на специфику задач и технологий различных отраслей, где сегодня находят применение АБХМ (а это металлургия, нефтехимия, энергетика, машиностроение, электроника, пищевая промышленность), ответ на вопрос об экономической целесообразности использования АБХМ везде определяется одинаково. Если на предприятии есть бросовые источники тепла (горячая вода, пар, дымовые и выхлопные газы), которые при ином раскладе доставляют только проблемы, эффект от внедрения холодильных машин ощутим и благоприятно влияет на производство в целом.

## НОВОЕ РЕШЕНИЕ

Владимир Гриненко

Начальник управления комплексного проектирования  
компании «Первый инженер»

Промышленная безопасность — вопрос не в последнюю очередь экономический: ни для кого не секрет, что выход оборудования из нормального рабочего режима — это затраты, складывающиеся из расходов на ремонт, и потерь, понесенных вследствие простоя. Суммы этих потерь в некоторых случаях бывают оглушительными, а потому, неудивительно, что их предотвращение — задача для производственных предприятий приоритетная, по сравнению, например, с мероприятиями, повышающими энергоэффективность. Однако неверно было бы рассматривать эти направления как конкурентов в борьбе за инвестиции, поскольку последовательное внедрение мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности, оказывает неизбежное влияние и на безопасность систем и энергетической инфраструктуры. О том, как решение, разработанное специалистами нашей компании для повышения энергоэффективности крупных производств, позволяет вывести управление производственными процессами на новый уровень и ликвидировать риски инцидентов и аварий, я расскажу в этой статье.

# СИСТЕМА «ВЫСШЕГО ПОРЯДКА».

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.

### Многокомпонентные системы теплоснабжения (ТС)

Особенную сложность вопросы надежности и энергоэффективности приобретают в масштабных системах, включающих несколько (три и более) источников и несколько потребителей тепловой энергии. В нашей практике это чаще всего встречается на предприятиях нефтепереработки, вообще же подобные системы есть и у крупных производителей из других отраслей: металлургии, ЦБП и других.

Особенности таких систем, думаю, хорошо известны нашим читателям:

- Необходимость бесперебойного снабжения приоритетных потребителей теплоносителем требуемых параметров.
- Система выработки и потребления тепла состоит из различных подсистем, координированная работа которых затруднена. Происходящие в системе сложные переходные процессы являются причиной критических и хаотичных режимов работы.
- Сложная и неэффективная топология теплосетей, являющаяся результатом эволюционного развития предприятия.
- Сложный для математического моделирования профиль энергопотребления.

Работая именно с такой системой на одном из российских НПЗ, для решения этой задачи мы решили провести оптимизацию системы теплоснабжения, учитывая динамическое взаимодействие процессов распределения, аккумуляции и потребления тепла.

Декомпозировав основную задачу, рассмотрим основные требования к решению:

- бесперебойное снабжение потребителей паром нужных параметров,
- максимальное и эффективное использование всех внутренних энергоресурсов предприятия,
- определение путей эффективного распределения энергоресурсов предприятия,

- обеспечение баланса прихода и расхода теплоносителя в любой момент времени с учетом графика работы производства,
- минимизация потерь,
- повышение эффективности контроля над системой теплоснабжения для снижения риска нарушения производственного технологического процесса,
- снижение уровня аварийности, снижение ущерба от инцидентов и аварийных ситуаций и сокращение сроков ликвидации последствий инцидентов и аварийных ситуаций.

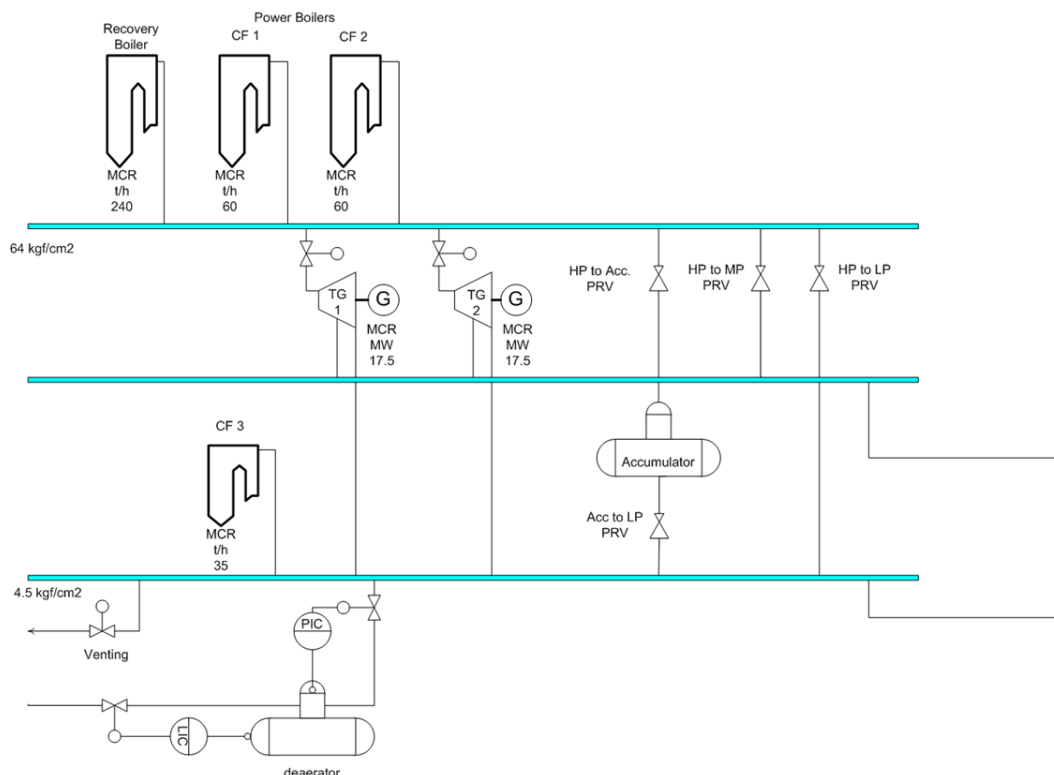
Как известно, самые интересные решения возникают на стыке двух проблем. Наш случай не исключение: разработка инженеров нашей компании — комплексная программа «Система ПИ» по внедрению автоматизированного управления промышленным теплоснабжением — возникла на пересечении задач: оптимизация тепломеханической части заводской инфраструктуры выработки и потребления тепловой энергии и разработка математического аппарата предиктивного управления сложными распределенными системами.

### Что такое «Система ПИ»?

«Система ПИ» — комплекс мероприятий, сочетающий в себе инжиниринг, монтажные работы, комплекс технических и программных средств, позволяющий вывести систему на качественно новый уровень надежности и эффективности. Целью этих мероприятий является модернизация системы теплоснабжения предприятия (ПП) до уровня системы с автоматическим регулированием процесса, на базе предиктивной модели управления для поддержания параметров теплоносителя на различных режимах работы.

«Система ПИ» работает с объектами:

- пароконденсатная система, включая станции сбора и перекачки конденсата,
- теплопункты и теплосети,
- паровые и водогрейные котельные, котлы утилизаторы,
- газовые турбины, паровые турбины,
- технологические потребители пара.



Пример системы теплоснабжения ПП, для которой «Система ПИ» является необходимым решением, представлен на рисунке выше.

Поскольку задача, которую предстояло решить, была многосоставной, то и решение получилось комплексным:

- выполнение тепловых и гидравлических расчетов существующих сетей теплоснабжения для определения участков с максимальными потерями,
- анализ работы системы ТС во всех регламентных режимах и определение критических участков,
- разработка мероприятий области энергоэффективности и экологической безопасности,
- разработка сценариев работы системы теплоснабжения ПП,
- модернизация системы теплоснабжения с учетом возможности автоматического управления,
- выбор предпочтительно варианта построения автоматической предиктивной системы управления.

Вот, собственно и есть краткое описание «Системы ПИ» и пути ее разработки. Разумеется, все было гораздо сложнее, с большим количеством работы на действующих производствах, расчетов и моделей. Выбор математического аппарата и технических средств верхнего уровня, отвечающих нашим требованиям, — отдельная история. Мы провели серьезный анализ имеющихся в мировой практике решений. Итогом стало эксклюзивное партнерство с компанией Valmet, которая имеет огромный опыт в реализации задач управления подобными системами.

## Как мы делаем это?

Внедрение «Системы ПИ» мы проводим в три этапа:

### Этап I

#### «Комплексное обследование. Разработка ОТР»

Мероприятия:

- замеры параметров при работе системы на различных режимах,

- сбор статистических данных о работе системы,
- сбор и анализ информации для формирования базовых сценариев,
- обследование и анализ технического состояния строительных конструкций,
- анализ перспективных проектов развития предприятия,
- проведение тепловых и гидравлических расчетов,
- моделирование базовых сценариев работы системы ТС,
- описание основных технических решений,
- подбор основного оборудования.

Результаты этого этапа — разработка ТЭО и укрупненное описание базовых сценариев работы системы. По окончании этого этапа заказчик и мы уже имеем все данные для формирования бюджета и разработки инвестиционной программы.

### Этап II

#### «Реконструкция системы ТС.

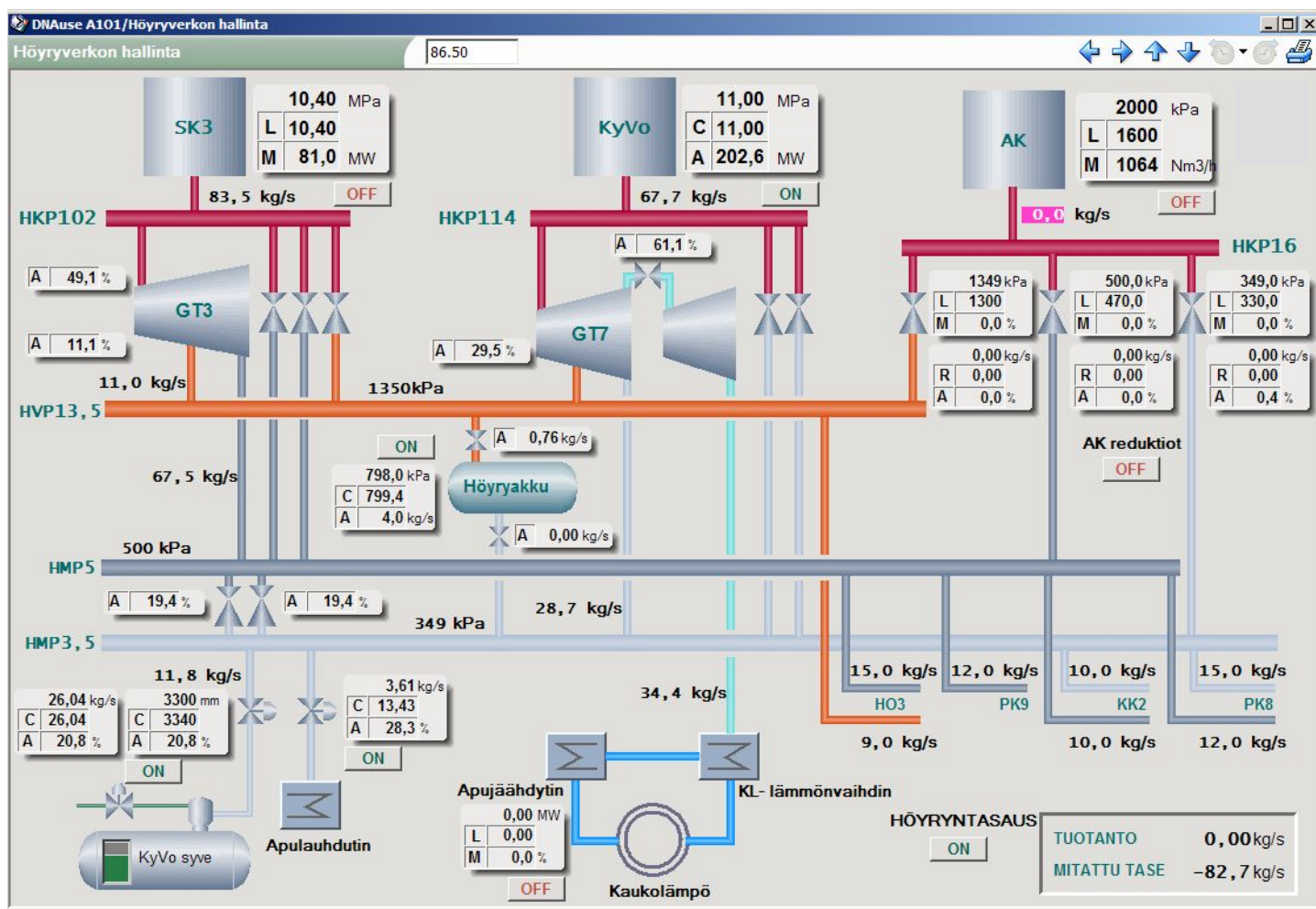
#### Автоматизированное управление системой ТС»

Мероприятия:

- разработка подробных сценариев управления ТС предприятия в различных режимах работы источников и потребителей,
- формирование функциональной схемы ТС под разработанные сценарии,
- разработка системы раннего оповещения о возможности наступления инцидента,
- исследование HAZOP для каждого сценария,
- корректировка функциональной схемы, алгоритмов переключений и регулировок для каждого сценария,
- разработка проектной продукции,
- монтажные и пусконаладочные работ.

Результатом работы на этом этапе является полностью модернизированная система ТС с автоматизированным режимом управления.

Сценарии работы системы отражаются в регламентах для оператора и обслуживающего персонала, а выбор сценария работы осуществляется оператором. Как это выглядит для оператора:



На практике, уже на втором этапе предприятие получает существенный экономический эффект — до 15%. Помимо этого, повышается эффективность контроля, осуществляется накопление статистической информации о работе в различных режимах, в том числе и критических. И, разумеется, происходит снижение уровня аварийности, ущерба от инцидентов, аварий и сокращение сроков ликвидации их последствий.

### Этап III

#### «Разработка адаптивной автоматической системы управления»

Мероприятия:

- глубокий анализ накопленной на Этапе 2 информации о работе системы ТС,
- разработка адаптивной системы управления. Моделирование сценариев автоматического управления,
- исследование HAZOP для каждого сценария,
- настройка программного и аппаратного обеспечения,
- корректировка функциональной схемы, алгоритмов переключений и регулировок для каждого сценария,
- разработка проектной продукции,
- СМР и ПНР

По завершении третьего этапа система теплоснабжения работает в автоматическом режиме. Выбор сценария управления осуществляется автоматически, в зависимости от ситуации.

В итоге предприятие получает:

- Дополнительный экономический эффект за счет комплексного динамического регулирования системы
- Обеспечение бесперебойного снабжения потребителей энергоресурсами нужных параметров
- Минимизация влияния человеческого фактора

Важно отметить, что на каждом этапе мы имеем законченный блок работ. Выход предыдущего блока программы внедрения является входом следующего блока. При этом мы получаем четко определенные результат и эффект на каждом этапе внедрения «Системы П».

В заключение отвечу на вопрос, который всегда задается после презентации нашего решения: «С чего начать?»

- Нужно, всего лишь, отправить запрос в нашу компанию. Мы ответим на интересующие вопросы, а Вы подробнее расскажете нам о своем предприятии. Далее, мы оцениваем возможности применения нашего Решения, для чего нам потребуется некоторый объем технической информации о предприятии и консультации с вашими специалистами. Следующим шагом является разработка ТЭО. На этом шаге заканчивается подготовительная работа и, мы приступаем к первому этапу реализации программы.

Задать вопрос

Когда мы говорим о модернизации пароконденсатной системы НПЗ и снижении паропотребления, первые шаги наши заказчики традиционно делают в сторону оптимизации общезаводской системы теплоснабжения. Это логичный шаг — потенциал энергосбережения на таких системах на российских предприятиях существенный, а мероприятия для его реализации простые и проверенные. Но настоящая энергоэффективность возможна только в том случае, если рационально организована не только общезаводская система, но и пароснабжение технологических установок. Куда двигаться и на что обратить внимание тем, кто задумался об сокращении тепловых потерь в технологии, расскажет эта статья.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ.

## ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ПАРОКОНДЕНСАТНОЙ СИСТЕМЫ

С каждым годом нефтеперерабатывающие заводы становятся все сложнее, повышается глубина переработки, усложняется и увеличивается ассортимент выпускаемой продукции. Очевидно, что в этих условиях требуется пересматривать устоявшиеся подходы к решению многих инфраструктурных задач, в частности организации энергетической инфраструктуры.

На современном НПЗ доля энергозатрат в структуре себестоимости продукции в среднем составляет 26%. Эта доля снижается при модернизации НПЗ, однако развитие заводов с целью освоения современных видов моторных топлив при одновременном углублении переработки нефти до 75-85% обуславливает многократный рост потребления энергоресурсов.

В основном рост происходит за счет увеличения электропотребления, увеличение паропотребления незначительное. В результате взаимодействия этих двух взаимно направленных процессов, в целом, снижение доли энергозатрат в себестоимости продукции происходит незначительно.

### Удельные расходы энергоносителей для переработки 1т нефти

| Завод                      | Старый      | Современный<br>(глубина переработки 75-85%) |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------------|
| Водяной пар, Гкал          | 0,05...0,07 | 0,2...0,3                                   |
| Электроэнергия, кВт*ч      | 5...7       | 80...110                                    |
| Оборотная вода, м³         | 2...6       | 18...22                                     |
| Углеводородное топливо, кг | 25...35     | 55...65                                     |

Современная технологическая установка коренным образом отличается от своих собратьев 50-60х годов прошлого века, как с точки зрения технологии, так и с точки зрения использования пара.

Попробуем сравнить их наглядно. Основные и безусловные требования к установке (тогда и сейчас) — это мощность, безопасность процесса и эффективность производства продукции. При разработке любой установки или ее модернизации от современных производителей, как и от их предшественников, требуется найти золотую середину, обеспечив наилучшее соотношение данных показателей.

Старая установка



Современная установка



Однако, значимость каждого из этих показателей за последние годы была значительно пересмотрена. В прошлом веке при строительстве установок главным фактором была повышенная мощность. Безопасности безусловно уделяли внимание, но в той мере, насколько это позволяли существовавшие технологии измерения и контроля параметров. Об энергоэффективности процессов думали в последнюю очередь.

Сегодня энергоэффективность выходит на первое место. И в структуре энергоэффективности технологической установки пароконденсатная система имеет не последнее место.

Итак, перечислим основные принципы построения эффективной ПКС современной установки:

1. Пар как теплоноситель должен использоваться только в обоснованных случаях. При температурах нагрева продуктов выше 100°C и в случае, если водяной нагрев или огневой нагрев невозможно применить. Паровой нагрев используется для «мягкого» нагрева нефтепродуктов. Он позволяет четко поддерживать температуру нагреваемой среды, не допуская ее перегрева и коксообразования.

Использование паровых спутниковых обогревов также должно применяться в исключительных случаях. В первую очередь при-

меняется электрообогрев или водяные спутники.

2. Для максимального сокращения площади паровых теплообменников должен использоваться сухой насыщенный пар. Для данных целей непосредственно перед теплообменником необходимо устанавливать охлаждающее устройство, позволяющее за счет впрыска воды поддерживать температуру пара на 5-12°C выше температуры насыщения. Это позволяет исключить площадь теплообмена, на которой будет охлаждаться перегретый пар. Данное решение позволит сократить площадь теплообмена на 20-30%.
3. Современные системы регулирования позволяют четко поддерживать давление пара. Использование нескольких ступеней давления для подачи пара нужных параметров позволяет снизить расход пара высокого давления. При этом становится возможным применение термокомпрессоров.
4. Утилизация остаточного тепла нефтепродуктов и дымовых газов для генерации пара. Различные источники теплоты можно

использовать для работы котла-утилизатора: низкопотенциальные потоки — для подогрева исходной воды, поступающей в деаэрактор, потоки со средним потенциалом — для нагрева питательной воды после деаэратора, высокопотенциальные — для испарения воды и получения пара.

5. Максимальная рекуперация тепла технологических потоков. Проведя «инвентаризацию» тепловых потоков, вы найдете источники дополнительной экономии энергоресурсов: разделив технологические объекты на группы, можно организовать их работу таким образом, что одни будут выступать генераторами тепловой энергии, а другие — ее потребителями.

Данный список — своеобразный чек-лист. Проверьте, насколько технологические установки на вашем предприятии соответствуют этим критериям, и вы будете знать, куда двигаться дальше, чтобы снизить энергозатраты.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Михаил Волобуев

Ведущий эксперт-аналитик компании «Первый инженер»

В продолжение рубрики «Конфликт интересов. Как не навредить системе, улучшая работу отдельных установок», сегодня мы поговорим о том, как влияют на общую эффективность паровой системы мероприятия, направленные на оптимизацию работы котельного оборудования, а именно автоматизация непрерывной продувки парового котла и использование тепла непрерывной продувки.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ ПАРОВОГО КОТЛА

Попробуем разобраться, для чего необходима непрерывная продувка парового котла.

При испарении воды в паровом котле любые примеси, содержащиеся в питательной воде, не уносятся с паром, а остаются в воде котла. В связи с этим концентрация растворённых твёрдых веществ в воде котла со временем все больше и больше увеличивается. Со временем в котле повышается, что в свою очередь приводит к вспениванию на поверхности котла. Пена с поверхности уносится из котла в паропровод. Также вспенивание является причиной по отключению котла по защите «Уровень в барабане».

Для исключения этих проблем производители котлов определяют максимальное значение содержания в котле. По величине максимального содержания в котле и существующего содержания в питательной воде, можно найти минимальную величину непрерывной продувки котла:

$$D_{np} = D_k * C_{пв} / (C_{max} - C_{пв})$$

где:

- $D_{np}$  — расход непрерывной продувки;  
 $D_k$  — расход питательной воды на котел (т/ч);  
 $C_{пв}$  — содержание питательной воды (мг/кг);  
 $C_{max}$  — максимальное содержание в котле (мг/кг).

Тепловые потери с непрерывной продувкой будут составлять:

$$Q_{пот} = D_{нпс} * i_{нп} - D_{нпб} * i_{сб}$$

где:

- $Q_{пот}$  — тепло теряемое с непрерывной продувкой (ккал/ч);  
 $D_{нпс}$  — существующий расход непрерывной продувки (т/ч);  
 $D_{нпб}$  — расход непрерывной продувки, после установки блока утилизации тепла непрерывной продувки (т/ч);  
 $i_{нп}$  — энтальпия непрерывной продувки при давлении в котле (ккал/кг);  
 $i_{сб}$  — энтальпия непрерывной продувки после установки блока утилизации тепла непрерывной продувки (ккал/кг).

При отсутствии автоматики на непрерывной продувке котла, существующий расход непрерывной продувки значительно превышает минимально необходимый расход непрерывной продувки. Это связано с тем, что анализы по содержанию в котлах проводят 1 раз в сутки и для недопущения на котлах содержания выше предельного, приходится поддерживать содержание в котле на минимально допустимом уровне.

Превышение сброса непрерывной продувки котла приводит к потерям тепловой энергии, составляющим 1–3% тепловой энергии производимого пара.

При наличии автоматики регулирования непрерывной продувки, возможно поддержание солесодержания в котле на 2-3% ниже максимально допустимого солесодержания, что приводит к снижению расхода непрерывной продувки.

При автоматизации непрерывной продувки мои коллеги и я предлагаем использовать тепло непрерывной продувки для получения пара вторичного вскипания и нагрева какого либо существующего потока:

- подпиточной воды на деаэратор, (Рис. 1)
- питательной воды перед паровым котлом. (Рис. 2)

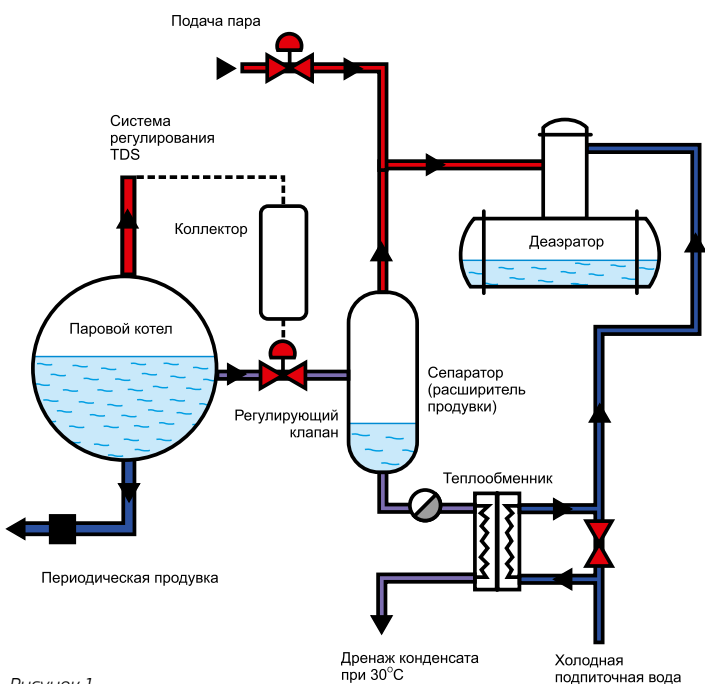


Рисунок.1.

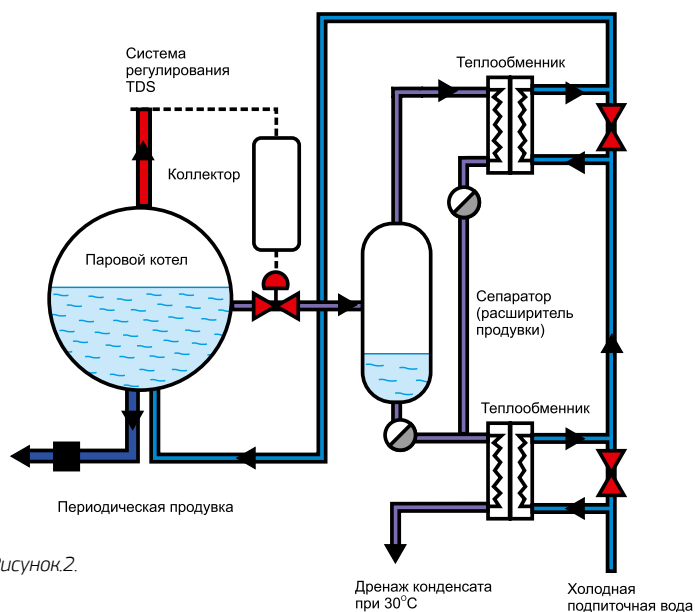


Рисунок.2.

Проанализируем воздействие перечисленных мероприятий энергоэффективности относительно воздействия их на другие параметры работы установки:

| № п/п | Мероприятие                                              | Процессы влияния                                                                                  |                                                       |
|-------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       |                                                          | Положительные                                                                                     | Отрицательные                                         |
| 1     | Нагрев питательной воды теплом непрерывной продувки.     | Увеличение производительности КУ. Снижение потребления топлива на КУ.                             | Незначительное увеличение температуры уходящих газов. |
| 2     | Нагрев ХОВ перед деаэраторм теплом непрерывной продувки. | Снижение потребления пара в деаэраторе. Возврат конденсата пара вторичного вскипания в деаэратор. | Нет.                                                  |

## ФОТО НОМЕРА



Дымовая труба Экибастузской ГРЭС-2 (Казахстан) достигает высоты 420м и является самой высокой трубой в мире по версии Книги рекордов Гиннеса. Выходу требуется около 4 часов, чтобы добраться до самой вершины дымохода. Для сравнения высота Эйфелевой башни равна 300 м.

ЭГРС-2 должна была стать самой мощной станцией в мире с 8-ю энергоблоками по 500 МВт, но в 1993 году после пуска в эксплуатацию второго энергоблока строительство станции было приостановлено. Сейчас станция является совместным казахстанско-российским предприятием с двумя энергоблоками и способна вырабатывать 1000 МВт электроэнергии. Она обеспечивает нужды железных дорог Казахстана, космодрома «Байконур», канала Иртыш – Караганда и северных областей страны.



## ИСТОРИЯ

Денис Маршинский

Специалист по маркетингу компании «Первый инженер»

# МАЙКЛ ФАРАДЕЙ. КОРОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОВ

Продолжая серию статей, посвященную ученым, сегодня «Клуб ПИ» предлагает вам поближе познакомиться с человеком, который внес невероятный вклад в развитие промышленного производства электричества. Основоположник учения об электромагнитном поле, создатель первой модели электродвигателя и трансформатора, автор таких терминов, как ион, катод, анод и многих других. В этом выпуске мы поделимся с вами интересными фактами из жизни великого британского физика и химика Майкла Фарадея.

## Школьная пора

Майкл Фарадей родился 22 сентября 1791 года в окрестностях Лондона в семье кузнеца. Семья была большой и дружной, но при этом очень бедной. В школе мальчик успел получить лишь начальное образование, так как уже в 13 лет Фарадею пришлось работать сначала рассыльным, а затем учеником переплетчика. Причиной окончания учебы стали трудное финансовое состояние семьи и неприятный случай в школе, где учительница была так недовольна неправильным произношением Фарадея, что попросила старшего брата наказывать его за это палкой. Мать Фарадея, узнав о случившемся, сильно возмутилась и прекратила школьное образование для своих детей.



## Смелость города берет

В 19 лет будущий ученый начал посещать Городское философское общество, где слушал лекции и участвовал в диспутах по физике и астрономии. Волею случая он попал на цикл публичных лекций первооткрывателя многих химических элементов Гемфри Дэви в Королевском институте. Фарадей успешно прослушал, записал и переплел четыре лекции Дэви, а затем отправил их с письмом, в котором попросил принять его на работу. «Смелый и наивный шаг», как выразился сам Фарадей, оказал решающее влияние на всю его жизнь, так как всего через несколько месяцев Дэви действительно пригласил юношу на освободившееся место лаборанта Королевского института.

Дэви разглядел в мальчике большой талант, сделав его своим незаменимым помощником, и вскоре взял его с собой в двухлетнее путешествие по научным центрам Европы. Благодаря большому влиянию Дэви, Фарадей смог познакомиться с такими выдающимися учеными того времени, как А. Ампер, М. Шеврель, Ж. Л. Гей-Люссак и А. Вольта, которые сразу разглядели в молодом британце выдающиеся способности.

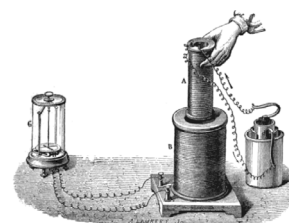
После возвращения в Королевский институт в мае 1815 года Фарадей продолжил самостоятельные научные эксперименты, положив начало собственному пути в науке. Интересно, что в конечном итоге знаменитый ученый так и не получил систематическое образование, оставшись самоучкой.



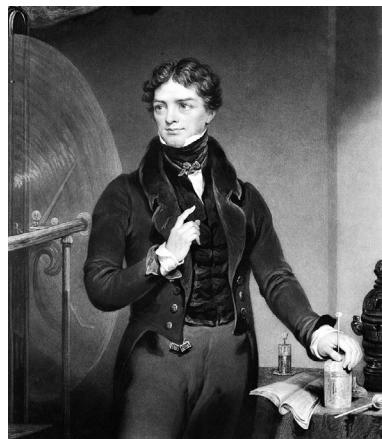
## Вижу цель — не вижу препятствий

Первые труды Фарадея были посвящены вопросам химии, но после открытия Эрстедом магнитного действия тока он переключился на физику. Фарадей считал, что если за счет электричества создается магнетизм, значит, можно доказать и обратное — превратить магнетизм в электричество. Кусок проволоки, которую ученый стал постоянно носить в своем кармане, послужил своеобразным напоминанием о поставленной цели.

В проведенном опыте 29 августа 1831 года при замыкании и размыкании цепи стрелка гальванометра в одной катушке, включенного в цепь другой катушки, стала отклоняться. Это и стало датой открытия электромагнитной индукции, которая к 40 годам принесла Фарадею мировую известность. На решение данной задачи ученому понадобилось около 10 лет упорного труда.



## Слеп физик без математики



Интересен тот факт, что Фарадей, будучи одним из величайших теоретиков науки, не владел высшей математикой, и в его дневниках не было никаких формул, что, вероятно, помешало добиться ему еще больших успехов. Во время работы над теорией электромагнитной индукции Фарадей предположил существование электромагнитных волн, которые он назвал «индукционной волной электричества», но из-за отсутствия математических навыков ученый не смог

обосновать данную идею, поэтому свои наблюдения в запечатанном виде он отправил в архив Королевского общества.

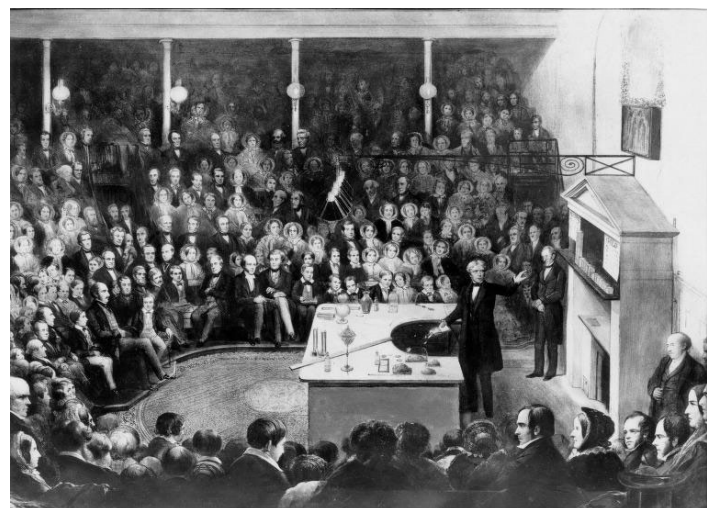
В этом письме, которое было обнаружено 106 лет спустя, Фарадей сделал поразительные выводы: на распространение магнитного взаимодействия требуется время; к распространению электромагнитной индукции можно применить теорию колебаний; процесс ее распространения похож на колебания взволнованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха. Это доказывает, что Фарадей предположил существование электромагнитных волн раньше Максвелла и Герца.

## Работа и труд

Майкл Фарадей отличался своей работоспособностью, трудолюбием и скрупулезностью в проведении научных экспериментов. Он работал по 18-20 часов в сутки и иногда даже спал в лаборатории. Опыты по электричеству и магнетизму он проводил в течение 24-х лет, описание которых регулярно высылал в Лондонское королевское общество. За свою жизнь ученый опубликовал несколько книг и 450 статей в журналах, а также осуществил более 30 000 экспериментов, за что справедливо получил прозвище «король экспериментаторов».

При этом Фарадей часто уклонялся от выгодных предложений, если они мешали ему заниматься наукой. Он дважды отказался от почетного поста президента Королевского сообщества и даже отклонил предложение от посвящения в рыцари.

К слову, занятость Фарадея никогда не становилась препятствием для его «социальных проектов». Ученый ежегодно организовывал рождественское чтение лекций для юношеской аудитории, и эта традиция до сих пор сохранилась в Королевском институте. За про-



ведение мероприятий он денег не брал, при том, что весь его заработок состоял из очень скромного оклада директора лаборатории.

## Не имей 100 рублей

В 1840 году Фарадей тяжело заболел и начал частично терять память. Зная это, влиятельные друзья ученого попросили правительство назначить ему пенсию за значительные заслуги перед страной. Министр же на личной встрече с Фарадеем высокомерно заявил, что считает глупостью выплачивать пенсии вообще всем научным и литературным деятелям, что задело ученого, который вежливо ответил отказом на финансовое предложение.

Друзья просили Фарадея пересмотреть свое решение, но ученый сначала потребовал получить извинений от министра. В то время Фарадей пользовался настолько большим авторитетом среди современников, что под влиянием общественности министр все-таки прислал ученому письмо со своими извинениями. Фарадей был этому рад и позже отметил: «Я вступился не за свою личную честь, а за достоинство ученого. Надо научить людей, имеющих власть, уважать деятелей науки по их действительным заслугам, а не по титулам и происхождению».

## Жизненные принципы

Фарадей всю жизнь был добрым, скромным и порядочным человеком, что в личном общении всегда отмечали его знакомые. Со своей женой ученый прожил в счастливом браке 46 лет. Собственных детей у них не было, поэтому все свои усилия они направили на воспитание его племянницы, которая осталась сиротой. Фарадей также никогда не забывал заботиться и о своей матери.



Известный химик и политик Жан Батист Дюма отметил: «Всякий из знавших его ... желал бы только приблизиться к тому нравственному совершенству, которое, по-видимому, было дано Фарадею от рождения. Он был одновременно горячим проповедником истины, неутомимым художником, человеком, исполненным радушия и веселости, в высшей степени гуманным и мягким в частной жизни...»

Подтверждением этого стал еще один интересный факт: в период Крымской войны правительство Великобритании обратилось к ученому с просьбой разработать химическое оружие против русской армии, но Фарадей ответил резким отказом, сочтя предложение аморальным.

Ученые и изобретатели меняют привычный мир бесспорно, их след порой намного превышает открытия, сделанные ими при жизни. Провода, передающие свет и питающие компьютеры, беспроводной интернет, бесконтактные пропуска и банковские карты, электродвигатели, промышленные электростанции, работающие благодаря электромагнитной индукции, — всем этим мы во многом обязаны Майклу Фарадею, «королю экспериментаторов» и одному из величайших физиков в истории науки.

